

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Optimalizace plánovaných odstávek v distribučních
sítích**

Doktorská disertační práce

**Optimization of scheduled outages in distribution
networks**

Doctoral Thesis

Vypracoval: Ing. Jiří Šoltys

Školitel: Prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.

Ostrava 2014

Poděkování

Děkuji tímto Prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za odborný dohled, cenné rady, užitečné připomínky, podporu a výbornou spolupráci, které mi byly během zpracování této disertační práce poskytnuty.

Děkuji.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně, že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne 24.8. 2014

Ing. Jiří Šoltys

Anotace

Tento příspěvek se zabývá problematikou plánovaných odstávek zařízení distribuční soustavy, které jsou v distribučních společnostech vynuceny prováděním údržbových prací jednotlivých zařízení, rekonstrukcemi za účelem modernizace stávajících zařízení, výstavbou nových zařízení, požadavky zákazníků atd.

Je zde provedena analýza dat o plánovaných odstávkách za roky 2008 až 2012 na území o rozloze 11067km², ve které je připojeno cca 958 000 zákazníků. Jedná se o významnou část distribuční soustavy České republiky. Je provedena analýza dat dle příčin jednotlivých odstávek s rozdělením na napěťové hladiny VVN, VN a NN. V práci je také analyzován dopad odstávek na zákazníky s vyčíslením dopadu na ukazatele nepřetržitosti distribuce. Na základě zjištěných údajů je zde proveden výpočet nákladů na jednu odstávku i celkové náklady na provádění plánovaných odstávek za rok.

Uvedené analýzy jsou základem pro provedenou vícekritériální optimalizaci nákladů na odstávky, jejímž výsledkem je stanovení možné úspory, při určených hodnotách navržených kritérií. Pro tuto optimalizaci je zpracována SW aplikace, jejímž základem jsou konkrétní data z analýz provedených v rámci této práce. V práci jsou také navrženy následující možnosti snížení celkového počtu odstávek a jejich dopadu na ukazatele nepřetržitosti distribuce:

- koordinace odstávek na stejném zařízení
- optimalizace údržbových prací dle řádu preventivní údržby
- provádění prací pod napětím podle stanovených pracovních postupů
- využití náhradních zdrojů energie
- budování náhradních provozních tras.

Všechny tyto možnosti jsou v práci detailněji rozpracovány.

V práci je také proveden návrh optimalizačního procesu s využitím v distribučních společnostech dostupných IT systémů.

Klíčová slova

distribuční soustava, optimalizace, plánovaná odstávka, spolehlivost, ukazatel nepřetržitosti distribuce

Annotation

This article deals with the scheduled shutdowns of distribution system facilities. These outages are necessary for the maintenance operations, modernisation of facilities, building of new facilities and to satisfy customers' requirements. Study presented is based on data about outages that occurred from 2008 to 2012 in the significant part of the Czech Republic distribution system that provides electricity to approx. 958 000 customers on the area of 11067 km². Analysis conducted on the data considers alternative causes of outages. These causes are put into three categories according to the voltage levels: HV, MV and LV. Moreover, analysis covers impact of outages on the customers. Impact is quantified by reliability indicators. By employing the data analysis, article provides calculation of costs both of individual outage and of total scheduled outages in one year period.

Furthermore, this article provides multi-criteria optimization of outage costs which indicates possible optimal level of cost reductions. For this specific purpose, specialized software is developed. Software makes use of the data results of the analysis mentioned above.

Moreover, in this paper are proposed and discussed in detail opportunities to reduce the number of outages and to reduce impact of scheduled shutdowns on continuous distribution indicators. Opportunities proposed are as follows:

- coordination of outages in the same facility
- optimization of maintenance operations according to the preventive maintenance rules
- ways of live-line working
- usage of reserve energy resources
- building of alternative operating routes

In addition, this paper provides proposal of optimisation process that could be used with IT systems available in distribution companies.

Key words

distribution network, optimization, scheduled outages, reliability, distribution reliability indicators

Cíle disertační práce

- uvést základní postupy při přípravě a realizaci plánovaných odstávek
- provést analýzu dostupných dat o plánovaných odstávkách
- zjistit průměrné náklady na jednu odstávku i na celkový počet odstávek za rok
- provést vícekritériální optimalizaci nákladů na plánované odstávky
- vytvořit výpočetní program pro provedení optimalizace
- navrhnout možnosti snížení počtu plánovaných odstávek

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	matice koeficientů omezujících podmínek
b	vektor pravých stran
C	matice koeficientů kritériálních funkcí
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
D	nejnižší hodnota kritéria
DŘS	dispečerský řídicí systém
DS	distribuční soustava
DTR	distribuční transformátor
DTS	distribuční trafostanice
EE	elektrická energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
EZ	Energetický zákon
$f(x)$	kritériální (účelová) funkce
FIS	finanční informační systém
GIS	geografický informační systém
h	označení hodnocené napěťové hladiny
H	nejvyšší hodnota kritéria
HDO	hromadné dálkové ovládání
HV	high voltage
HZSh	hodinová zúčtovací sazba pro vyhodnocení odstávky
HZSv	hodinová zúčtovací sazba pro vytvoření požadavku
HZSp	hodinová zúčtovací sazba pro provedení odstávky v reálném čase
HZSz	hodinová zúčtovací sazba pro zpracování požadavku
IT	informační technologie
IV	instalovaný výkon
K	korekční koeficient
KO	klasická odstávka
λ	intenzita poruch
LDS	lokální distribuční soustava
LV	low voltage
M	množina přípustných řešení
MV	middle voltage

MW	megawat
MWh	megawat/hodina
MZS	mobilní zdrojové soustrojí
Nc	celkové náklady na jednu odstávku
Nh	náklady na vyhodnocení odstávky
NN	nízké napětí
No _{rok}	náklady na odstávky za rok
Np	náklady na provedení odstávky v reálném čase
NPT	náhradní provozní trasa
N _s	celkový počet zákazníků v soustavě
Nv	náklady na vytvoření požadavku
Nz	náklady na zpracování požadavku
OP	omezující podmínka
OP _{z₂}	omezující podmínka podle funkce z ₂
OP _{z₃}	omezující podmínka podle funkce z ₃
OZE	obnovitelné zdroje energie
PAS	systém vyšších funkcí
PDS	provozovatel distribuční soustavy
P _{inst}	instalovaný výkon
P _{MAX}	maximální odebíraný výkon
Po _{rok}	počet odstávek za rok
PS	přenosová soustava
PPDS	pravidla provozování distribuční soustavy
PPN	práce pod napětím
R	pravděpodobnost bezporuchového chodu R
Q	pravděpodobnost poruchy
RCM	spolehlivostně orientovaná údržba
REAS	rozvodná elektroenergetická akciová společnost
ŘPÚ	řád preventivní údržby
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
τ	střední doba trvání poruchy
T _{DOD}	celkový čas dodávky za určité období

T_h	čas potrebný pro vyhodnocení odstávky
T_{CHOD}	celkový čas chodu za určité období
TIS	technický informační systém
T_{MAX}	doba využití maxima
T_p	čas potrebný pro provedení odstávky v reálném čase
TR	transformátor
t_s	střední doba mezi poruchami
TS	transformační stanice
TÚ	technologický úsek
T_v	čas potrebný pro vytvoření požadavku [h]
T_{VYP}	celkový čas výpadku za určité období [h]
T_z	čas potrebný pro zpracování požadavku [h]
U_f	účelová funkce
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
W_{NED}	pravděpodobně nedodaná energie
X	množina přípustných řešení
x	vektor proměnných
X_1	náklady na odstávky
X_2	úspora
x_{1min}	minimální náklady na odstávky
x_{2min}	minimální úspora
Z_{opt}	bod optimálního rozložení
z_{1kom}	funkce z_1 kompromisní
z_1	funkce z_1
z_2	funkce z_2
z_3	funkce z_3
z_1^{opt}	funkce z_1 optimální
z_2^{opt}	funkce z_2 optimální
z_3^{opt}	funkce z_3 optimální
ZVN	zvlášť vysoké napětí

Obsah

Poděkování	2
Prohlášení	2
Anotace	3
Klíčová slova	3
Annotation	4
Key words	4
Cíle disertační práce	5
Seznam použitých symbolů a zkratk	6
Obsah	9
1 Úvod	12
2 Teorie systémové analýzy	13
2.1 Obecný optimalizační model	14
2.1.1 Prvky optimalizačního modelu	15
2.2 vícekritériální optimalizace	16
2.2.1 vícekritériální lineární programování	16
3 Teoretický rozbor spolehlivosti	18
3.1 Číselné vyjádření spolehlivosti	18
3.2 Vztahy mezi základními spolehlivostními veličinami	18
3.3 Výpočet spolehlivosti v elektroenergetice	19
3.3.1 Metody výpočtu spolehlivosti	20
3.4 Vztah klasických a globálních spolehlivostních ukazatelů	22
3.5 Globální ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie	23
4 Vyhl 540/2005sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice	24
4.1 Postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb	24
4.2 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny	24
4.2.1 Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny	24
4.2.2 Hladinové ukazatele	24
4.2.3 Systémové ukazatele	25
5 Popis současného stavu plánování odstávek	26
5.1 Plánovací období	26
5.1.1 dlouhodobá příprava provozu	26
5.1.2 roční příprava provozu	26
5.1.3 měsíční příprava provozu	27

5.1.4	týdenní příprava provozu.....	27
5.1.5	denní příprava provozu.....	27
5.2	Požadované informace o odstávce	27
5.3	Pravidla pro omezování odběratelů při plánovaných odstávkách	27
5.4	Rozdělení plánovaných odstávek	28
5.4.1	rozdělení dle napětových hladin	28
5.4.2	rozdělení dle délky odstávek	28
5.4.3	rozdělení dle příčiny odstávky.....	28
5.4.4	rozdělení dle dopadu na zákazníky.....	28
5.5	Příprava odstávek	29
5.5.1	Dlouhodobé odstávky v síti VVN	29
5.5.2	Odstávky v síti VN s omezením zákazníků.....	31
5.5.3	Vliv šíření signálu HDO na plánování odstávek	33
6	Analýza dat.....	34
6.1	Rozsah vyhodnocovaných dat.....	34
6.2	Rozsah zkoumané oblasti.....	36
6.3	Analýza dle typu zařízení.....	40
6.3.1	rozdělení zařízení dle typů.....	40
6.3.2	Vyhodnocení počtu odstávek dle typů zařízení	40
6.4	Analýza dle napětových hladin.....	43
6.5	Analýza dle příčin	44
6.6	Analýza časového rozložení.....	49
6.7	Analýza vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce	52
7	Výpočet nákladů na odstávky	57
7.1	Rozdělení činnosti:.....	57
7.2	Celkové náklady na odstávku N_c :	58
8	Stanovení možné úspory pomocí vícekriteriální optimalizace.....	60
8.1	Sestavení modelu vícekriteriální optimalizace.....	60
8.1.1	Parciální optimalizace	62
8.1.2	Nalezení kompromisního řešení:	63
8.2	Určení rizikovosti.....	65
8.2.1	vytvoření výchozí kriteriální matice Y	65
8.2.2	vytvoření normalizované kriteriální matice R	66
9	SW program pro výpočet optimalizace	68

9.1	Popis jednotlivých částí SW programu	68
10	Možnosti omezení počtu odstávek	73
10.1	Koordinace odstávek na stejném zařízení	73
10.2	Optimalizace údržbových prací dle ŘPÚ	74
10.3	Použití metod prací pro snížení ukazatelů SAIDI,SAIFI,CAIDI (PPN, MZS, NPT)	76
10.3.1	Možné způsoby omezení vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny	76
10.3.2	Hodnocení efektivity provádění prací PPN, nasazování MZS a NPT	77
10.3.3	Stanovení zásad pro využívání PPN, nasazování MZS a NPT	79
10.3.4	Zhodnocení	82
11	Využití dostupných IT systémů pro optimalizaci odstávek	83
11.1	Informační systémy využitelné při provádění optimalizace plánovaných odstávek	83
11.1.1	TIS – technický informační systém	83
11.1.3	DŘS - dispečerský řídicí systém	83
11.1.4	FIS - finanční informační systém	83
11.2	Návrh optimalizačního procesu	85
11.2.1	Vstupy:	85
11.2.2	Optimalizační nástroj:	85
11.2.3	Výstup:	85
12	Závěr	86
12.1	Doporučení pro další postup	87
13	Conclusions	88
13.1	Recommendations for further progress	89
14	Použitá literatura	90
15	Vlastní publikace	91

1 Úvod

Elektrizační soustava je jednou z nejdůležitějších součástí infrastruktury. Plynulé dodávky elektrické energie jsou dnes samozřejmostí pro domácnosti, firmy i sektor služeb a v běžném životě přítomnost elektřiny všude kolem nás v podstatě nevnímáme a to přesto, že elektrizační soustava je jeden z nejsložitějších technických systémů současnosti. Základní podmínkou funkčnosti tohoto systému je rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektřiny. Od výroby ke spotřebitelům je však potřeba elektrickou energii dopravit a to s vysokou spolehlivostí a v potřebné kvalitě. K dopravě elektřiny slouží přenosová soustava a soustava distribuční. Přenosovou soustavou se přenášejí velké výkony na velké vzdálenosti a to na hladinách zvláště vysokého napětí. Mezi přenosovou soustavou a spotřebiteli je pak dodávka elektřiny realizována prostřednictvím distribuční soustavy. Tato práce se zabývá problematikou distribuční soustavy. Snahou provozovatelů distribuční soustavy je maximální dostupnost zařízení. Tuto dostupnost můžeme definovat několika způsoby.

Dostupnost zařízení:

- jde o takový stav provozovaného zařízení, který umožňuje provozovatelům DS toto zařízení použít k distribuci elektrické energie
- schopnost tohoto zařízení plnit svou funkci v každém okamžiku
- ze spolehlivostního hlediska se tedy jedná o pohotovost celého systému, tj. o stav, kdy je zařízení v používání nebo je připraveno pro použití

Důležitou povinností provozovatele distribuční soustavy je zvládnutí problematiky řízení výpadů. Výpadky jsou rozděleny do dvou kategorií:

- 1) *poruchové výpadky* - jedná se o neočekávané události v distribuční soustavě, způsobené např. nepříznivými povětrnostními vlivy, stárnutím zařízení atd.
- 2) *plánované výpadky* – zde jde o odstávky části sítě, které jsou předem naplánované. V rámci plánovaných odstávek se provádí zejména údržba zařízení podle ŘPÚ (řád preventivní údržby), investiční výstavba (výstavba nových zařízení, rekonstrukce stávajících), plánované opravy zařízení, připojení nových zákazníků atd.

Tato práce se zabývá problematikou plánovaných odstávek zařízení distribuční soustavy s ohledem na dodržování platné legislativy, spolehlivost soustavy a ekonomickou efektivnost. Je zde popsán pohled provozovatele distribuční soustavy, subjektů provádějících práce v distribuční soustavě dodavatelským způsobem a také dopad odstávek na zákazníky připojené do sítě a to jak odběratele, tak výrobce elektrické energie.

Výsledkem práce je vyhodnocení všech dostupných informací a návrh optimalizace počtu plánovaných odstávek.

2 Teorie systémové analýzy

Systémová analýza je základní aplikační disciplínou v oblasti systémové vědy. Vznikla z potřeby mít k dispozici metody pro práci se složitými systémy, které by zvýšily kvalitu rozhodování. Systémová analýza důsledně uplatňuje systémový přístup a při zkoumání systémů využívá modelovou techniku a kvalitativní a kvantitativní metody – metody operačního výzkumu.[2]

Kvantitativní metody jsou využívány jako podpora rozhodování již od starověku. Jednotlivé metody jsou rozvíjeny již od 16. století a od poloviny 20. století vzniká rozsáhlá vědní oblast operační a systémová analýza.

Definování systému:

- cíl a kritérium systému
- systém a jeho okolí
- prvky systému
- vazby mezi prvky
- vstupy
- výstupy
- chování systému a jeho prvků

Cílem systémové analýzy je zvýšit kvalitu rozhodování, zlepšit úroveň znalostí o zkoumané oblasti a umožnit experimenty bez manipulace s reálným objektem. Základní kroky systémové analýzy metodicky obsahují kombinaci exaktních a intuitivních postupů.

Fáze řešení problému pomocí systémové analýzy:

1. vymezení řešeného problému
2. identifikace systému na zkoumaném objektu
3. vytvoření systémového modelu a kvantifikace modelu
4. modelové výpočty a experimenty
5. interpretace výsledků a řešení problému
6. implementace a realizace řešení v praxi

Mezi klasické modely operační analýzy patří například optimalizační modely. Tyto modely slouží k nalezení nejlepšího řešení problému, přitom možná řešení jsou prvky nějaké konečné či nekonečné množiny. Patří sem například lineární, nelineární, dynamické a stochastické programování nebo vícekritériální rozhodování.

Modely matematického programování se zabývají postupy, jak nalézt optimální řešení problému, optimální rozhodnutí podle určitého kritéria. Na rozdíl od rozhodovacích modelů však v tomto případě hledáme rozhodnutí, které splňuje určité předem dané podmínky.

Takové situace mohou být popsány optimalizačním modelem. Kritérium je zobrazeno funkcí, jejíž extrém hledáme. Omezující podmínky, které musí splňovat řešení, jsou popsány rovnicemi nebo nerovnicemi. Tyto modely vycházejí z úloh nalezení extrémů funkcí.

2.1 Obecný optimalizační model

Každá rozhodovací situace je charakterizována řadou prvků, které specifikují a omezují možná rozhodnutí. Zatímco v rozhodovacích modelech možná rozhodnutí musí být vyjmenována, při použití optimalizačních modelů musí být matematicky formulována právě tato omezení. [2]

Optimalizační model slouží k popisu klasického úkolu nalézt řešení, které je omezeno řadou podmínek a které zároveň nejlépe vyhovuje uvažovaným kritériím. Řešení je popsáno vektorem proměnných

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n \quad 2.1.$$

Jehož každá složka vyjadřuje rozsah jednoho procesu, aktivity či prvku rozhodnutí.

Možné řešení je omezeno podmínkami, které určují varianty rozhodnutí. Tyto omezující podmínky jsou vyjádřitelné vhodnými funkcemi a rovnicemi nebo nerovnicemi např.

$$q(x) \leq 0 \quad 2.2.$$

Kde $q(x)$ je reálné funkce proměnných x_1, x_2, \dots, x_n .

Množinou přípustných řešení nazýváme množinu

$$M = \{x \in R^n \mid q_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m\} \quad 2.3.$$

Každý prvek x z množiny M nazýváme přípustným řešením. Vektory x , které nesplňují omezující podmínky, se nazývají nepřípustnými řešeními.

Výběr rozhodnutí nebo přípustného řešení závisí na sledovaném cíli, účelu. Cíl, podle něhož je vybíráno rozhodnutí, je popsán funkcí, která se nazývá účelová nebo kritériální funkce, např.

$$f(x): R^n \rightarrow R \quad 2.4.$$

Kritériem rozhodnutí je nejčastěji optimalizace výsledku, tedy nalezení maximální nebo minimální hodnoty funkce $f(x)$.

Cílem optimalizačních modelů je nalezení optimálního řešení, tj. optimálních hodnot proměnných, resp. Optimálních rozsahů jednotlivých procesů či aktivit a optimální hodnoty kritéria. Řešení x_{opt} , které splňuje omezující podmínky a v němž účelová funkce nabývá svého minima, resp. maxima se nazývá optimální řešení.

2.1.1 Prvky optimalizačního modelu

- I. vektor proměnných $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$, který popisuje jednotlivé složky rozhodnutí
- II. omezující podmínky $q_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m$, která popisují reálná omezení hledaných rozhodnutí
- III. účelová nebo kritériální funkce $f(x)$, která popisuje cíl, kritérium hledaného rozhodnutí

2.1.1.1 Klasifikace optimalizačních modelů

Optimalizační modely se dělí podle vlastností použitých funkcí, charakteru množiny přípustných řešení a typu a počtu kritérií. Kritérium nemusí být stanoveno jediné, neboť není vždy možno hledat řešení problému pouze z jediného hlediska.

- je-li kritérium jediné, jde o *jednokritériální optimalizační model*
- je-li kritérií více, jedná se o *vícekritériální optimalizační model*

Z hlediska typu kritéria dělíme modely na:

- *minimalizační model* – jde o nalezení minimální hodnoty účelové funkce
- *maximalizační model* – jde o nalezení maximální hodnoty účelové funkce
- *cílový model* – kdy je kritériem rozhodnutí dosažení předem daného výsledku

Podle typu použitých funkcí se optimalizační modely dělí na:

- *lineární modely* - které ve své formulaci využívají pouze lineární funkce
- *nelineární modely* – v jejichž matematickém popisu je alespoň jedna nelineární funkce

nelineární modely dělíme na:

- konvexní modely
- nekonvexní modely

2.2 vícekriteriální optimalizace

Modely vícekriteriálního rozhodování zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle kritérií. Vícekriteriálnost charakterizuje téměř každou rozhodovací situaci. Zohlednění více kritérií při hodnocení vnáší do řešení problému obtíže, které vyplývají z obecné kontroverznosti kritérií. Kdyby všechna kritéria ukazovala na stejné řešení, stačilo by pro volbu nejvhodnějšího rozhodnutí jediné z nich. Účelem modelů těchto situací je buď nalezení nejlepší varianty podle všech uvažovaných hledisek, vyloučení neefektivních variant nebo uspořádání množiny variant. [2]

2.2.1 vícekriteriální lineární programování

Úloha vícekriteriálního lineárního programování patří do skupiny spojitých vícekriteriálních optimalizačních modelů. Jedná se o modely, které mají množinu variant vyjádřenou soustavou omezujících podmínek a množinu kritérií vyjádřenou kritériálními funkcemi. Cílem je nalezení požadovaného extrému těchto kritérií na množině přípustných řešení. [3]

2.2.1.1 matematický model úlohy vícekriteriálního lineárního programování

Je nutné nalézt extrémy kritériálních funkcí:

$$\begin{aligned} z_1 &= c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n \rightarrow \max \\ z_2 &= c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n \rightarrow \max \\ &\vdots \\ z_k &= c_{k1}x_1 + c_{k2}x_2 + \dots + c_{kn}x_n \rightarrow \max \end{aligned} \quad 2.5.$$

Za podmínek:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_j &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

V maticovém vyjádření:

$$\begin{aligned} Cx &\rightarrow \max \\ x &\in X = \{x \in R^n \mid Ax \leq b, x \geq 0\} \end{aligned} \quad 2.6.$$

Kde X je množina přípustných řešení

x je vektor proměnných

C je matice koeficientů kritériálních funkcí

A je matice koeficientů omezujících podmínek

b je vektor pravých stran

Základním pojmem teorie vícekriteriálního programování je pojem dominovaného a nedominovaného řešení.

Jsou-li x^i a x^j dvě přípustná řešení, potom říkáme, že řešení x^i dominuje řešení x^j , jestliže platí $Cx^i \geq Cx^j$.
Přípustné řešení x^i je nedominovaným řešením úlohy, pokud neexistuje žádné jiné přípustné řešení, které by jej dominovalo.

Ideální řešení je hypotetické nebo reálné řešení, reprezentované ve všech kritériích současně nejlepšími možnými hodnotami.

Bazální řešení je hypotetické nebo reálné řešení, reprezentované nejhorším ohodnocením podle všech kritérií.

Kompromisní řešení je řešení, které má od ideálního řešení nejmenší vzdálenost podle vhodné metriky.

2.2.1.2 Prvky lineárního vícekriteriálního optimalizačního modelu

- I. Vektor proměnných $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R^n$, který popisuje jednotlivé složky hledaného rozhodnutí
- II. Omezující podmínky $Ax \leq b, i = 1, \dots, m$, které popisují reálná omezení hledaných rozhodnutí
- III. Vektor účelových nebo kriteriálních funkcí $z(x) = Cx$, který popisuje kritéria hledaného rozhodnutí

Mezi kriteriálními funkcemi a omezujícími podmínkami optimalizační úlohy existuje vzájemná zaměnitelnost v tom smyslu, že kteroukoli omezující podmínku lze formulovat jako kriteriální funkci a naopak. Požadavek maximalizace kritéria tak lze formulovat jako požadavkovou podmínku (dosažení alespoň požadované hodnoty kritéria), požadavek minimalizace kritéria lze chápat jako kapacitní podmínku (nepřekročení určité hodnoty kritéria).

3 Teoretický rozbor spolehlivosti

Spolehlivost elektroenergetické soustavy je chápána jako schopnost této soustavy zajistit nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie spotřebitelům. Spolehlivost elektrických sítí byla obvykle chápána ve třech základních oblastech:

- Spolehlivost jednotlivých částí sítí v období tvorby projektové dokumentace.
- Spolehlivost již provozovaných sítí.
- Spolehlivost v přípravě provozu elektroenergetického systému.

V současné době jsou výpočty spolehlivosti elektrických sítí stále více spojovány s dvěma problémy provozu elektroenergetické soustavy:

Výpočet pravděpodobně nedodané energie.

Oblast údržby elektroenergetické soustavy – snahou je provádět údržbu nikoli podle času, ale podle skutečného stavu zařízení a minimalizovat údržbové prostoje. [1]

3.1 Číselné vyjádření spolehlivosti

Nejběžnějším vyjádřením spolehlivosti je :

- intenzita poruch λ [rok⁻¹]
- střední doba trvání poruchy τ [h]
- pravděpodobnost bezporuchového chodu R [-]
- pravděpodobnost poruchy Q [-]
- střední doba mezi poruchami t_s [h]

3.2 Vztahy mezi základními spolehlivostními veličinami

Všechny spolehlivostní veličiny jsou v obecném případě funkcí času. Jestliže je předpoklad, že daný objekt zahájí svoji činnost v čase $t = 0$ a v čase $t = x$ dojde k poruše, je doba x nazývána **dobou do poruchy**.

Je-li doba do poruchy x nezáporná náhodná veličina s distribuční funkcí:

$$Q(t) = P(x < t) \quad 3.1.$$

vyjadřuje tato distribuční funkce pravděpodobnost toho, že na intervalu $(0, t)$ dojde k poruše.

$$\text{Funkce:} \quad R(t) = P(x \geq t) \quad 3.2.$$

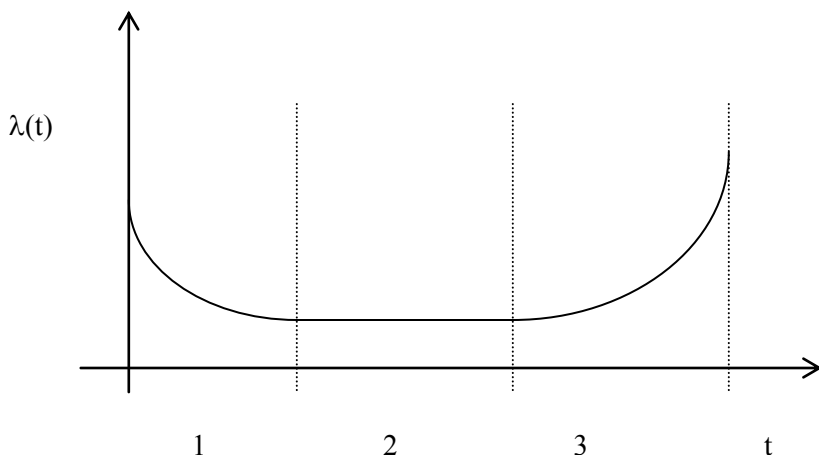
se nazývá **funkcí spolehlivosti** a vyjadřuje pravděpodobnost toho, že v intervalu $(0, t)$ nedojde k poruše.

$$\text{Hustota poruch:} \quad f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad 3.3.$$

Intenzita poruch: $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$ 3.4.

Veličiny $f(t)$ a $\lambda(t)$ mají rozměr [čas⁻¹], obvykle se udávají v jednotkách [h⁻¹] nebo [rok⁻¹]. Každá ze čtyř základních veličin $R(t)$, $Q(t)$, $f(t)$ a $\lambda(t)$ popisuje stejně úplně bezporuchovost neobnovovaného objektu a z každé z nich je možné odvodit tři zbývající.

Typický tvar intenzity poruch zobrazuje **vanová křivka** (obr.3.1)



Obr.3.1

- úsek 1: období časných poruch (záběh)
- úsek 2: období normálního využívání
- úsek 3: období poruch dožitím

3.3 Výpočet spolehlivosti v elektroenergetice

Většina spolehlivostních výpočtů probíhá tak, že ze znalosti spolehlivosti jednotlivých prvků systémů je proveden výpočet celkové spolehlivosti systému. Proto spolehlivostní výpočty mají dvě základní fáze:

1) získání vstupních spolehlivostních údajů: podle způsobů získání vstupních dat pro výpočet dělíme spolehlivost do dvou skupin:

- a) *spolehlivost empirická* – vstupní údaje jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo podobného zařízení, pracujícího v podobných podmínkách.
- b) *spolehlivost apriorní* – vstupní údaje jsou určeny předem.

2) výpočet spolehlivosti

3.3.1 Metody výpočtu spolehlivosti

Pro řešení spolehlivosti systémů existuje celá řada metod, které většinou řeší spolehlivost systému při známé spolehlivosti prvků systému. Výsledná spolehlivost je řešena v ustáleném stavu (nezávisle na čase) nebo jako časová funkce. Systém je ve spolehlivosti definován jako souhrn vzájemně vázaných prvků. Prvkem může být součást, skupina součástí, celé zařízení nebo soubor zařízení. Rozkladem soustavy na prvky lze popsat systém blokovým schématem. Prvky se obvykle uvažují jako dvoustavové, mohou se tedy vyskytovat v provozuschopném stavu nebo ve výpadku. [9]

Při určení metody spolehlivosti je nutno vycházet z toho, jaký systém je řešen, jaké jsou k dispozici vstupní hodnoty spolehlivosti a v jakém tvaru je požadován výsledek výpočtu.

Dále je důležité, chceme-li hodnoty ustálené spolehlivosti, nebo hodnoty spolehlivosti závislé na čase.

Základní metody výpočtu spolehlivosti:

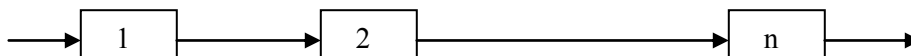
- a) metoda spolehlivostních schémat
- b) Markovovy procesy
- c) simulační metody

ad a) Metoda spolehlivostních schémat

Jedná se o základní metodu řešení spolehlivosti. Výpočet spolehlivosti podle této metody úzce souvisí s teorií pravděpodobnosti.

Základním principem této metody je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům spolehlivostního schématu a následné zjednodušování spolehlivostního schématu až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné spolehlivostní parametry celého systému, který byl spolehlivostním schématem namodelován. Spolehlivostní bloková schémata jsou grafická znázornění, která mohou mít tyto formy zapojení: sériové, paralelní a jejich kombinací.

Sériový systém – nastane-li správná činnost určitého systému jen při bezporuchovém stavu všech jeho prvků, odpovídá tomu v pravděpodobnostním modelu sériové spojení prvků, i když skutečné zapojení prvků může být jakékoliv.

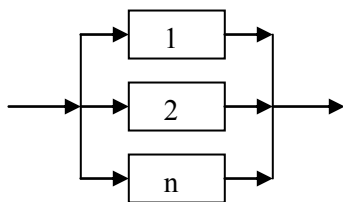


Obr.3.2

Pro pravděpodobnost bezporuchového chodu platí:

$$R_V = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad 3.5.$$

Paralelní systém – zobrazuje systém spojený z n prvků, které pracují funkčně paralelně. Jestliže má jeden z prvků poruchu, přebírá jeho funkci druhý prvek a při jeho poruše pak další prvky. Porucha systému nastává teprve tehdy, když všechny prvky mají poruchu.



Obr.3.3

Pro pravděpodobnost poruchy platí za předpokladu nezávislých prvků:

$$Q_V = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad 3.6.$$

Pro výslednou hodnotu pravděpodobnosti bezporuchového chodu platí:

$$R_V = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad 3.7.$$

Základními spolehlivostními parametry pro jednotlivé prvky jsou většinou intenzita poruch a střední doba poruchy. Pro prvky elektrické sítě, které musí mít pravidelnou údržbu, je nutno tyto spolehlivostní parametry ještě doplnit intenzitou údržby a střední dobou údržby.

ad b) Markovovy procesy

Markovovy modely jsou funkcí náhodných proměnných stavu soustavy a doby. Funkce mohou být spojité a diskrétní, jedná se tedy o 4 druhy procesů. Markovovy modely s diskrétními stavy a spojitým časem je Markovův proces. Vlastností tohoto procesu je, že pravděpodobnost přechodu z výchozího stavu do následujícího stavu je závislá pouze na těchto dvou stavech, je zcela nezávislá na všech stavech minulých, kterými již systém prošel. Pro použití v oblasti techniky se tedy pracuje v oblasti s diskrétními stavy (provoz, porucha) a se spojitým časem přechodu z jednoho stavu do druhého.

Protože pro výsledky výpočtu spolehlivosti elektrických sítí ve většině případů postačuje tzv. ustálená spolehlivost, není nutno ve většině spolehlivostních výpočtů pro praxi Markovovy procesy používat. Pro stanovení časového průběhu jsou však velmi vhodné.

ad c) simulační metody

Předpokladem simulačních metod je znalost intenzity výpadků (intenzita poruch a intenzita údržby) a střední doby výpadků všech prvků vyšetřované soustavy. Simulací se rozumí numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely reálných systémů na číslicových počítačích. Problémem této metody je stanovení příslušného počtu iterací, který je závislý na rozsahu řešené sítě a na požadované přesnosti.

3.4 Vztah klasických a globálních spolehlivostních ukazatelů

Pravděpodobnost bezporuchového chodu, respektive jeho číselné vyjádření, běžnému odběrateli elektrické energie nic neříká. V mnoha případech se proto provádí vyčíslení pravděpodobnosti bezporuchového chodu nikoli z exponenciálního zákona, ale z celkových dob dodávky elektrické energie a výpadku dodávky elektrické energie. [1]

$$R = \frac{T_{DOD}}{T_{DOD} + T_{VYP}} = 1 - \frac{T_{VYP}}{T_{CHOD} + T_{VYP}} \quad 3.8.$$

T_{DOD} celkový čas dodávky za určité období [h]

T_{VYP} celkový čas výpadku za určité období [h]

T_{CHOD} celkový čas chodu za určité období [h]

Tento vzorec je možno převést do tvaru, kdy je celková doba výpadku za rok vyjádřena pomocí intenzity výpadku λ a střední doby výpadku τ .

$$R = 1 - \frac{\lambda \cdot \tau}{8760} \quad 3.9.$$

λ intenzita výpadků [rok^{-1}]

τ střední doba trvání výpadku [h]

Pravděpodobně nedodaná energie se určuje buď z průměrné hodnoty odebírané elektrické energie, nebo z hodnoty maximálního odebíraného výkonu P_{MAX} a hodnoty doby využití maxima T_{MAX} .

$$W_{NED} = \frac{\lambda \cdot \tau \cdot T_{MAX} \cdot P_{MAX}}{8760} \quad [\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad 3.10.$$

λ intenzita výpadků [rok^{-1}]

τ střední doba trvání výpadku [h]

T_{MAX} ...doba využití maxima [h.rok⁻¹]

P_{MAX} ...maximální odebíraný výkon [kW]

Vztah mezi hodnotou pravděpodobně nedodané energie a hodnotou pravděpodobnosti bezporuchového chodu:

$$W_{NED} = (1 - R) \cdot T_{MAX} \cdot P_{MAX} \quad 3.11.$$

3.5 Globální ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie

Používají se k vyčíslení spolehlivosti dodávky elektrické energie do určené oblasti.

Rozlišujeme tyto globální ukazatele spolehlivosti:

- četnost výpadků (počet výpadků/rok/odběratele)
- celková doba trvání všech výpadků (min/rok/odběratele)
- doba trvání jednoho výpadku (minuty/výpadek)

Tyto ukazatele charakterizují střední průměrnou spolehlivost dodávky a její důsledky z pohledu odběratele. Jsou využívány především ve vztahu k Energetickému regulačnímu úřadu, k poradenským firmám i k vzájemnému porovnání mezi REAS. Ve vztahu k běžným odběratelům jsou však důležité meze, ve kterých se tyto ukazatele v REAS pohybují a rozdělení jejich četnosti.

Jsou tři základní přístupy ke stanovení globálních ukazatelů spolehlivosti dodávky z distribučních sítí vyvolaných nahodilými nebo plánovanými přerušeními dodávky:

- důsledky výpadku se vztahují na počet odběratelů postižených výpadkem
- důsledky výpadku se vztahují na nedodaný výkon (instalovaný nebo deklarovaný)
- důsledky výpadku se vztahují na počet postižených stanic nebo transformátorů

Ukazatelé se vypočtou pro jednotlivé napěťové hladiny. Ve vyhodnocení musí být uvedeno, jakého postupu bylo při výpočtu použito. Jedna událost v distribuční soustavě může vést k několika výpadkům, které postihnou některé nebo všechny původně postižené odběratele, v některých případech však i další odběratele. Ve výpočtu se musí uvážit všechny relevantní výpadky a jejich důsledky pro odběratele.[1]

4 Vyhl 540/2005sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice

Tato vyhláška stanovuje v jedné své části základní pravidla pro evidenci a vyhodnocování přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny. Vyhodnocení plánovaných odstávek dle těchto pravidel je tedy důležité i pro tuto práci. [14]

4.1 Postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb

§21 Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny

(1) Provozovatel přenosové soustavy a provozovatel distribuční soustavy vede záznamy o všech dlouhodobých přerušeních přenosu nebo distribuce elektřiny v jím provozované soustavě.

(2) Ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny jsou

- a) průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období
- b) průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.
- c) průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.

4.2 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny

4.2.1 Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny

4.2.2 Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad 4.1.$$

kde h je označení hodnocené napěťové hladiny (nn,vn nebo vvn)

j je pořadové číslo události v hodnoceném období

n_{jh} je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku j -té události

N_{sh} je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku.

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}} \quad 4.2.$$

kde t_{sj} je součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku j -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž byla přerušena distribuce elektřiny, stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} n_{jhi} \quad 4.3.$$

kde i je pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události

t_{ji} je doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události

n_{jhi} je počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad 4.4.$$

4.2.3 Systémové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=\{nn,vn,vvn\}} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad 4.5.$$

kde N_s je cekový počet zákazníků v soustavě ke konci předchozího kalendářního roku

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn,vn,vvn\}} \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad 4.6.$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad 4.7.$$

5 Popis současného stavu plánování odstávek

Plánování odstávek v distribučních soustavách je součástí procesu přípravy provozu DS. V platné legislativě je příprava provozu definována jako činnost prováděná při dispečerském řízení distribuční soustavy, při které se zpracovává soubor technickoekonomických a organizačních opatření v oblasti výroby, distribuce a spotřeby elektřiny, jejímž cílem je zajištění spolehlivého a bezpečného provozu DS při respektování smluvních vztahů mezi účastníky trhu s elektřinou.

5.1 Plánovací období

Plánovací období pro přípravu odstávek v distribuční soustavě vychází z kapitoly provozní plánování PPDS. Etapy přípravy provozu jsou následující: [12]

- dlouhodobá příprava provozu - předpokládaný rozvoj s výhledem na 10 let
- roční příprava provozu - na 1 kalendářní rok
- měsíční příprava provozu - na 1 měsíc dopředu, po týdnech
- týdenní příprava provozu - na 1 týden dopředu, po dnech
- denní příprava provozu - na příští den (dny), po hodinách

5.1.1 dlouhodobá příprava provozu

Etapa dlouhodobé přípravy provozu obsahuje předpokládaný rozvoj s výhledem na 10 let. Tento dlouhodobý program se aktualizuje každé 3 roky. Tento program zahrnuje takové odstávky částí DS a výroben, které mohou mít vliv na provoz PS.

5.1.2 roční příprava provozu

Roční příprava provozu se zpracovává na jeden kalendářní rok v následujících krocích:

TÝDEN 2: Výrobci elektřiny nezahrnutí do etapy dlouhodobého plánování poskytnou PDS program předpokládaných odstávek výroby na 1 rok dopředu spolu se specifikací výroby a velikosti odstavovaného výkonu v MW, předpokládaný termín každé navrhované odstávky a je-li to možné, uvedou také nejbližší datum zahájení a nejzazší termín dokončení.

TÝDEN 7: Výrobci elektřiny poskytnou PDS odhady použitelného výkonu pro rok a orientační rozpis výroby a dodávky elektřiny pro každou výrobu v členění na jednotlivé měsíce pro příští rok, týdny 1-52 a svůj navrhovaný program odstávek pro příští rok.

TÝDEN 12: Po konzultacích s výrobcí elektřiny poskytne PDS příslušným výrobcům podrobnosti o omezujících okolnostech na straně DS a o dalších možných požadavcích na DS souvisejících s odstávkou, a to za každý týden příštího roku, spolu s doporučenými změnami. PDS bude informovat každého výrobce elektřiny o požadavcích na disponibilní výkon na příští rok, týdny 1-52.

TÝDEN 24: Uživatelé DS poskytnou PDS podrobné informace o chystaných odstávkách svých zařízení v průběhu příštího roku, které mohou mít vliv na provoz DS. Informace bude zahrnovat aktualizaci programu z etapy dlouhodobého plánování, případné nové požadavky a tam, kde je to třeba, i podrobný popis odstávky. Kromě návrhu odstávek bude tento program zahrnovat najížděcí zkoušky, rizika spouštění a ostatní známé informace, které mohou mít vliv na bezpečnost a stabilitu DS.

TÝDEN 37: Každý výrobce elektřiny poskytne PDS aktualizované odhady disponibilního výkonu pro každou výrobní jednotku pro příští rok, týdny 1-52.

TÝDEN 48, PDS po vzájemných konzultacích s uživateli zahrne návrhy na odstávky zařízení do roční přípravy provozu a výsledky roční přípravy zveřejní.

5.1.3 měsíční příprava provozu

Měsíční příprava provozu se zpracovává na jeden měsíc dopředu po týdnech. Tato etapa je zpřesněním roční přípravy provozu. Požadavky na zařazení do této etapy se uplatňují do pátého dne předchozího měsíce.

5.1.4 týdenní příprava provozu

Týdenní příprava provozu je zpracována na jeden týden dopředu po dnech a je zpřesněním měsíční přípravy provozu. Požadavky do této etapy jsou přijímány do úterý předchozího týdne 8:00 hodin.

5.1.5 denní příprava provozu

Denní příprava provozu je zpracována na příští dny po hodinách. Je zpřesněním týdenní přípravy provozu. Požadavky se uplatňují do 8 hodin předchozího dne, případně v den předcházející dnům pracovního volna nebo pracovního klidu pro všechny následující nepracovní dny.

5.2 Požadované informace o odstávce

Každá žádost o odstávku musí obsahovat minimálně následující informace: [12]

- a) počátek odstávky
- b) druh prováděných prací (revize, oprava, rekonstrukce apod.)
- c) zařízení, na kterých se bude pracovat (vývodové pole, transformátor, generátor, vedení)
- d) konec odstávky
- e) pohotovostní čas opětovného uvedení zařízení do provozu

5.3 Pravidla pro omezování odběratelů při plánovaných odstávkách

Podstatná část plánovaných odstávek vyžaduje přerušení dodávky elektřiny zákazníkům. Provozovatel distribuční soustavy má právo omezit nebo přerušit v nezbytném rozsahu dodávku elektřiny účastníkům trhu s elektřinou při provádění plánovaných prací na zařízení distribuční soustavy nebo v jeho ochranném

pásmu, zejména oprav, rekonstrukcí, údržby a revizí, Toto právo je dáno ustanoveními energetického zákona.

Při plánování a realizaci plánovaných odstávek ve smyslu EZ a PPDS se PDS řídí těmito zásadami:

1. Provozovatel distribuční soustavy je povinen oznámit započetí a skončení omezení nebo přerušení dodávek elektřiny způsobem v místě obvyklým, nejméně však 15 dnů předem. Ohlašovací povinnost nevzniká při provádění nutných provozních manipulací, při nichž omezení nebo přerušení dodávky elektřiny nepřekročí 20 minut. [13]
2. Dodávka elektřiny jednotlivému zákazníkovi smí být v průběhu 7 kalendářních dní přerušena v součtu max. 20 hodin a to tak, aby:
 - v období duben až říjen jedno vypnutí trvalo maximálně 12 hodin
 - v období listopad až březen jedno vypnutí trvalo maximálně 8 hodin [12]
3. Odstávky se vyjma naléhavých případů neprovádějí v době od 15.12. do 1.1. [12]
4. Při venkovních teplotách pod -5°C jsou přípustné odstávky s dobou trvání do 8 hodin. [12]
5. Při venkovních teplotách pod -15°C se odstávky neprovádí. [12]

5.4 Rozdělení plánovaných odstávek

5.4.1 *rozdělení dle napěťových hladin*

- VVN
- VN
- NN

5.4.2 *rozdělení dle délky odstávek*

- Krátkodobé
- Opakované
- Dlouhodobé

5.4.3 *rozdělení dle příčiny odstávky*

- Údržba zařízení (ŘPÚ)
- Investiční výstavba
- Rekonstrukce zařízení
- Plánované opravy
- Požadavky zákazníků

5.4.4 *rozdělení dle dopadu na zákazníky*

- S omezením odběratelů
- S omezením výrobců elektřiny
- Bez omezení zákazníků

5.5 Příprava odstávek

Každá odstávka je kombinací rozdělení, uvedených v podkapitole 5.4 a dle výsledku zařazení do kategorií pak probíhá příprava odstávky.

Velmi důležitým bodem je zajištění spolehlivosti provozu DS v průběhu realizace odstávek. Téměř vždy je v případě odstávky některé části distribuční soustavy snížena spolehlivost distribuční soustavy v dané oblasti. V případě odstávek s omezením odběratelů nebo výrobců pak pro tyto subjekty není síť vůbec dostupná.

Další část této kapitoly je věnovaná zejména dlouhodobým odstávkám v síti VVN z důvodu investiční výstavby a rekonstrukcí zařízení a odstávkám s omezením odběratelů, případně výrobců elektřiny. [16]

5.5.1 *Dlouhodobé odstávky v síti VVN*

V současné době je realizováno nebo připravováno k realizaci velké množství rozsáhlých rekonstrukcí na zařízení distribuční soustavy na hladině VVN, které souvisí se snahou uspokojit požadavky na nová připojení k DS, případně navýšení odběrů stávajících odběratelů. Pro zvládnutí této situace jsou nutné rychlé a masivní zásahy do posílení DS. Toto je požadavek velmi náročný na určení slabých míst v soustavě, přípravu staveb nových zařízení nebo rekonstrukci těch stávajících a vyčlenění investičních prostředků. Velmi důležitým bodem je zajištění provozu DS v průběhu realizace staveb, tak aby nedocházelo k odkládání realizace potřebné obnovy sítě při zachování přijatelné míry zabezpečení chodu sítě. Toto je z pohledu přípravy provozu velmi náročný úkol na přípravu opatření před započítáním plánovaných odstávek. V případě těchto rekonstrukcí jde většinou o dlouhodobé odstávky zařízení v řádu několika měsíců.

Vždy je nutno po dobu odstávky dodržet zajištění alespoň spolehlivostního kritéria N-1. Definice kritéria N-1 dle PPDS:

Kritérium N-1 DS je schopnost DS udržet parametry normálního stavu po výpadku jednoho prvku v síti 110kV nebo stanici 110kV/VN (vedení, transformátor), přičemž může dojít ke krátkodobému lokálnímu omezení nebo přerušení spotřeby.

Formulace z PPDS se zdá být poměrně jasnou. Jak si však vysvětlit pojem krátkodobé lokální omezení nebo přerušení spotřeby?

Jediným legislativním aktem, který stanovuje konkrétní časy pro možné přerušení dodávky je vyhl.540/2005sb ve znění vyhl.41/2010sb. O kvalitě dodávek elektřiny a služeb v elektroenergetice.

§5. Standard obnovy přenosu nebo distribuce elektřiny po poruše.

Standardem obnovy distribuce elektřiny po poruše je obnova distribuce elektřiny do odběrného nebo předávacího místa provozovatele lokální distribuční soustavy nebo konečného zákazníka po vzniku poruchy, a to ve lhůtě do:

a) 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV, [14]

b) 12 hodin v sítích distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV [14]

Při zajištění kritéria n-1 nelze samozřejmě pro síť 110kV brát v úvahu časy uvedené ve vyhlášce 540/2005sb.. Pro síť VN a NN však již většinou není možné zajistit při odstávkách části sítě obnovu dodávky po poruchách provozními manipulacemi, ale obnovit dodávku je často možné až po odstranění poruchy, nebo dle možnosti po přerušení probíhajících plánovaných prací. Je tedy zřejmé, že i když je pro kritérium n-1 v legislativě pouze jedna definice pro všechny napětové hladiny DS, pohlížíme na zajištění spolehlivosti na hladině VVN jinak než na úrovních VN a NN. U hladiny VVN musí být možnost obnovit dodávku manipulacemi v síti v relativně krátkém čase, jednotlivé výpadky na této hladině postihují většinou velké množství klientů a není tedy možné čekat s obnovou dodávky až do opravy vzniklé poruchy. Toto je potřeba mít na paměti i při plánování dlouhodobých odstávek v sítích 110kV.

Jedním nespecifikovaným pojmem v definici kritéria n-1 je tedy termín krátkodobé omezení, kterým jsem se zabýval výše, druhým pak lokální omezení. Pro tento termín neexistuje v legislativě žádné vysvětlení. Můžeme si toto vysvětlit také jako část sítě VN, která zůstane i po vymanipulování poruchy vzniklé na hladině 110kV, bez možnosti obnovit dodávku a kde bude nutné čekat až do odstranění poruchy, nejvýše však 12hod, jak nařizuje vyhl.540/2005sb. pro odběrná místa VN.

5.5.1.1 Posloupnost opatření k zajištění možnosti řešit poruchy v síti 110kV při nestandardním zapojení sítě při dlouhodobých odstávkách.

- 1) Opatření učiněná v rámci projektové přípravy a před započítáním odstávek.
 - Vytvoření spolehlivostních schémat při vynětí části sítě z provozu.
 - Rozhodnutí o provizorních opatřeních před započítáním staveb (výstavba NPT, propojení vedení atd.)
 - Zahrnutí provizorních opatření do projektové dokumentace staveb.
 - Vytvoření harmonogramu postupu prací.
 - Vytvoření havarijních schémat.
 - Zajištění dostupnosti lidských zdrojů, techniky a materiálu pro urgentní opravy.
- 2) Včasná identifikace poruchových míst.
 - Využití informací z řídicích systémů.
 - Zaměření poruchy pomocí lokátoru.
 - Dostupnost obsluh rozveden a pochůzkových čet.
- 3) Řešení poruchových stavů.
 - Použití předem vytvořených poruchových schémat.
 - Možnost krátkodobého využití přetížitelnosti transformátorů a vedení.
 - Krátkodobé využití ostrovních provozů vzniklých po poruše.
 - Využití zálohovatelnosti sousedních oblastí v DS po vedeních VN.

Odstávky v síti VVN se připravují tak, aby nedocházelo k omezení zákazníků, nemají tedy přímý dopad na spolehlivostní ukazatele SAIDI a SAIFI. Velký dopad na spolehlivostní ukazatele však mají poruchové výpadky v síti 110kV a možnost řešení poruchových stavů je při dlouhodobém vynětí části sítě 110kV např. pro rekonstrukci vedení značně omezena. Pomocí opatření uvedených v předešlých třech bodech jednak zvyšujeme průchodnost sítě v průběhu výstavby, např. výstavba provizorních vedení (NPT) a také předem připravujeme řešení provozních stavů, které mohou nastat po vzniku poruchy.



Obr. 1 Příklad napojení provizorního vedení

Jedná se často o opatření velmi nákladná, proto je nutno při přípravě věnovat velkou pozornost výpočtům chodu sítě a požadovat realizaci těchto opatření jen v nutných případech. [17]

5.5.2 Odstávky v síti VN s omezením zákazníků.

Zatímco v případě dlouhodobých odstávek v síti VVN popsaných v kapitole 5.5.1 nedochází k omezení odběratelů a výrobců elektřiny, při odstávkách v síti VN pak již k těmto omezením dochází a tyto odstávky pak mají vliv na spolehlivostní ukazatele SAIDI, SAIFI a CAIDI. Při přípravě odstávek v síti VN je tedy nutné omezovat, jak počet odstávek kdy k omezení zákazníků dochází, tak délku prováděných odstávek a minimalizovat rozsah zařízení vyňatého z provozu. U těchto odstávek je nutno dodržovat mimo jiné také ustanovení PPDS uvedené v kapitole 5.3.

Při rozsáhlých rekonstrukcích v sítích VN lze, z důvodu méně náročné technologie výstavby než je tomu u sítě VVN, zajistit aby nevznikaly požadavky na dlouhodobé trvalé odstávky části sítě. Práce lze většinou rozložit tak, aby bylo možné zařízení vždy po skončení pracovní směny zprovoznit. Z tohoto důvodu je minimalizována potřeba stavět pro realizaci těchto odstávek nákladné NPT. Při tomto postupu výstavby však vznikají požadavky na opakované odstávky stejných částí sítě, které se tedy dotýkají i

stejných odběratelů nebo výrobců elektřiny a je nutné, při plánování odstávek, dodržovat výše uvedené ustanovení PPDS o možné délce omezení zákazníka v průběhu 7 kalendářních dnů a také dovolené délce jedné odstávky. Tato ustanovení jsou ochranou zákazníků před častým omezováním dodávky elektřiny ze strany distributora.

Při provádění rozsáhlých rekonstrukcí je však toto omezení značnou komplikací pro zhotovitele. Pokud např. vyžaduje rekonstrukce části vedení 3 x 10 hodin práce a počítáme 2 hodiny na odstávku jako dobu nutnou pro manipulace v síti související s uvolněním zařízení z provozu, zajištění o odjištění pracoviště a zpětné uvedení do provozu pak při maximální délce jedné odstávky v letním období, která je dle zmíněné legislativy 12 hodin je nutné realizovat tyto práce ve třech odstávkách. Při dodržení ustanovení aby v průběhu 7 kalendářních dnů byla dodávka elektřiny přerušena v součtu na maximálně 20 hodin je nutné tyto 3 odstávky rozložit minimálně do 15 kalendářních dnů, což pro zhotovitele znamená značné nároky na vytvoření harmonogramu výstavby, přesuny techniky a pracovníků na jiná pracoviště ve dnech mezi jednotlivými odstávkami atd.

Také přínos tohoto omezení pro zákazníka je minimálně sporný. V těchto případech by bylo zřejmě pro zákazníka vhodnější realizovat práce v menším počtu delších odstávek a v případě velkých odběratelů, kteří musí provádět opatření pro omezení dopadů přerušení dodávky na svou podnikatelskou činnost (např. zajištění náhradního zdroje elektřiny) může být vhodnější provádět odstávky ve dnech po sobě jdoucích.

V případě nutnosti rozložit práce na více odstávek, je nutné ke každé odstávce připočítat také čas potřebný pro manipulace v síti a zajištění a odjištění pracoviště. Toto má také negativní dopad na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny.

I v případě odstávek v síti VN je samozřejmě základní snahou při přípravě odstávek omezit nutnost přerušit dodávku elektřiny zákazníkům na minimum. K eliminaci omezování zákazníků využíváme zejména:

- 1) Vymezení úseku spínacími prvky v síti.
- 2) Využití náhradních mobilních zdrojů energie.
- 3) Provádění prací pod napětím (metoda PPN)
 - Realizace samotných prací metodou PPN
 - Přípravné práce metodou PPN

ad1) Jedná se o vymezení nejmenší možné části sítě, kterou je nutno odstavit z provozu s ohledem na zajištění bezpečnosti práce s využitím existujících spínacích prvků v síti.

ad2) Možnost nasadit u velkých odběratelů případně k napájení sítě NN náhradní zdroje energie. Při plánování odstávky musí být ověřeny technické podmínky pro nasazení těchto zdrojů.

ad3) Metodou PPN lze provádět vybrané druhy prací na které jsou zpracovány přesné pracovní postupy. Při přípravě odstávek týkajících se rekonstrukcí většího rozsahu v sítích VN je využívána metoda PPN pro úpravy v síti před započítáním prací, které umožní zmenšit rozsah sítě nutné k vynětí z provozu. Jde zejména o montáž provizorních úsekových odpojovačů nebo rozsorkování sítě.

Při použití metody PPN je však nutno zajistit vypnutí zdrojů, pracujících do předmětné části sítě, jejichž výkon je v součtu vyšší než 500kW. S nárůstem připojených OZE v síti roste i počet případů, kdy je nutno tyto zdroje pro práce PPN vypínat. Toto vypnutí však podléhá zákonné lhůtě pro ohlášení a do jisté míry se tak vytrácí operativnost možného využití prací PPN. [16]

5.5.3 Vliv šíření signálu HDO na plánování odstávek

V distribuční soustavě je využíváno řízení zátěže pomocí vysílání signálu HDO. Vysílání signálů HDO však není rozšířeno ve všech částech sítě se stejnou frekvencí (rozdílné frekvence vysílačů pracujících do sítě 110kV a do sítě 22kV). V některých oblastech není, v základním provozním zapojení, signál HDO dostupný vůbec (v napájecí transformovně není umístěn vysílač signálu HDO). V těchto částech sítě je přepínání sjednaných tarifů u zákazníků řízeno spínacími hodinami.

Při přípravě odstávek může nastat situace kdy, při přípravných manipulacích pro vynětí části sítě z provozu, převádíme část sítě kde je zátěž řízena signálem HDO na napájení z transformovny kde vysílání signálu HDO není zajištěno. V případě, že bychom tuto záležitost opomněli, nedošlo by u zákazníků k přepínání sjednaných tarifů dle uzavřených smluv a vznikl by tak podnět k oprávněným stížnostem odběratelů. V tomto případě je nutné při přípravě takové odstávky naplánovat a před převedením části sítě provést odvysílání telegramu, který na celou dobu nedostupnosti aktuálního vysílání zajistí zákazníkům přepnutí přijímačů na nízký tarif. Toto je samozřejmě pro dodavatele nevýhodné a je nutno tyto stavy při přípravě odstávek minimalizovat.

Účelem této kapitoly je ve stručnosti popsat problematiku přípravy plánovaných odstávek v distribuční soustavě, dopad těchto odstávek na zákazníky a spolehlivost soustavy. Byla popsána rozdílnost přípravy odstávek na napěťových hladinách VVN a VN. Je zřejmé, že při plánování odstávek je potřeba dbát na ekonomickou efektivnost připravovaných opatření. Vždy je však na prvním místě nutné mít na zřeteli bezpečnost pracovníků provádějících práce na zařízení distribuční soustavy. [16]

6 Analýza dat.

6.1 Rozsah vyhodnocovaných dat

Již na konci devadesátých let minulého století byly u nás vyvíjeny a postupně do praxe uváděny databázové systémy, které umožňují komplexní evidenci poruch a plánovaných odstávek v distribuční soustavě. Také v oblasti pro kterou je prováděna analýza v této práci byl v té době uváděn do provozu rozsáhlý a velmi podrobný databázový informační systém evidence výpadků s vazbami na řídicí systém.

Pro tuto práci byla k dispozici data za roky 2002 až 2012. V roce 2007 byl u distributora ve zkoumané oblasti nahrazen stávající informační systém novým technickým informačním systémem s vazbami také do ekonomických a zákaznických informačních systémů. Struktura dat o poruchách a plánovaných odstávkách se v obou systémech mírně liší. Z důvodu zachování konzistence použitých dat, byla pro uvedené analýzy použita data o plánovaných odstávkách pouze z nového technického informačního systému. Konkrétně se jedná o data za období let 2008 až 2012. [6]

Z důvodu citlivosti používaných dat není v práci uvedena konkrétní použitá databáze jednotlivých událostí. Jsou zde prezentovány analýzy z těchto dat vytvořené. Z důvodu použití citlivých dat jsou také některá data záměrně zkreslena. Uvedené výsledky analýz (procentní rozdělení, trendy vývoje atd.) však odpovídají realitě.

Pro prováděnou analýzu je potřebná následující struktura údajů o jednotlivých odstávkách:

- napěťová hladina
- časové údaje
- identifikace technického místa
- dispečerská oblast
- počet omezených zákazníků dle kategorií
- příčina odstávky
- nutnost přerušení dodávky

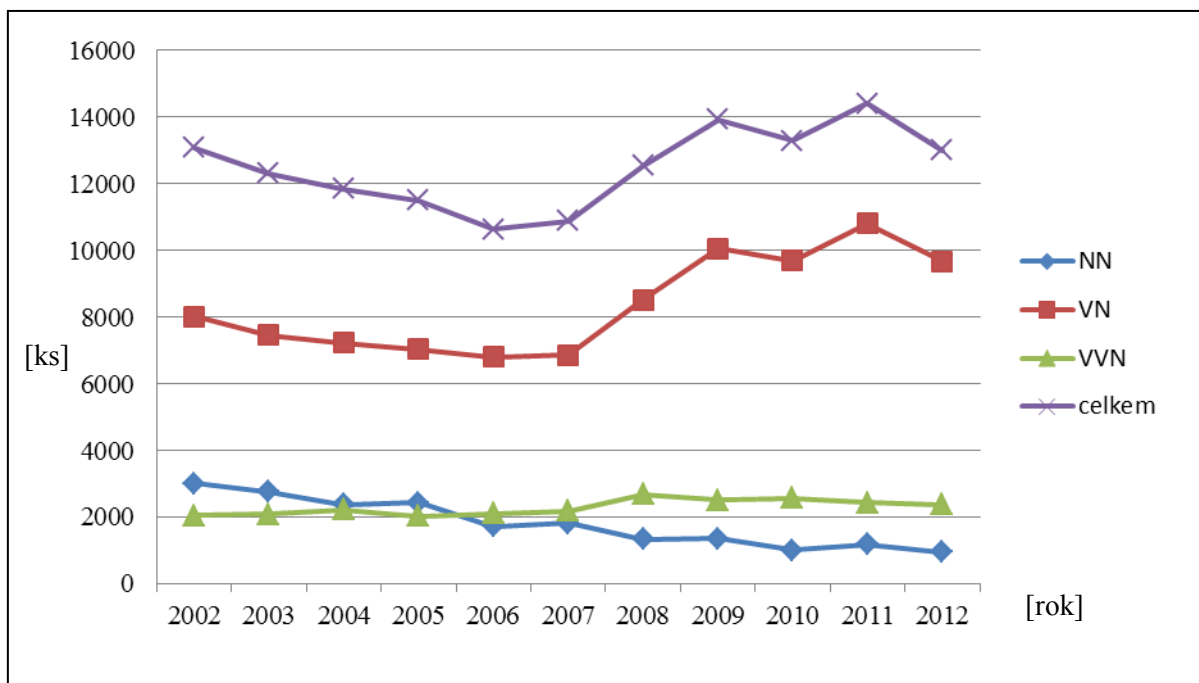
K dispozici pro tuto práci byla data o 137 000 odstávkách na napěťových hladinách VVN, VN, NN.

Pro provedené analýzy byly použity data od roku 2008. Celkem bylo v této práci analyzováno 67 000 plánovaných odstávek.

Vývoj počtu odstávek v jednotlivých letech dle napěťových hladin je znázorněn v tabulce 6.1 a v grafické podobě v grafu 6.1.

ROK	NN	VN	VVN	Celkem
2002	3004	8013	2057	13074
2003	2766	7460	2080	12306
2004	2384	7237	2229	11850
2005	2429	7044	2035	11508
2006	1723	6801	2106	10630
2007	1824	6869	2191	10884
2008	1330	8525	2695	12550
2009	1355	10060	2505	13920
2010	1016	9702	2567	13285
2011	1175	10801	2438	14414
2012	955	9681	2376	13012
celkem	19961	92193	25279	137433

Tabulka 6.1 přehled počtu odstávek za roky 2002 až 2012

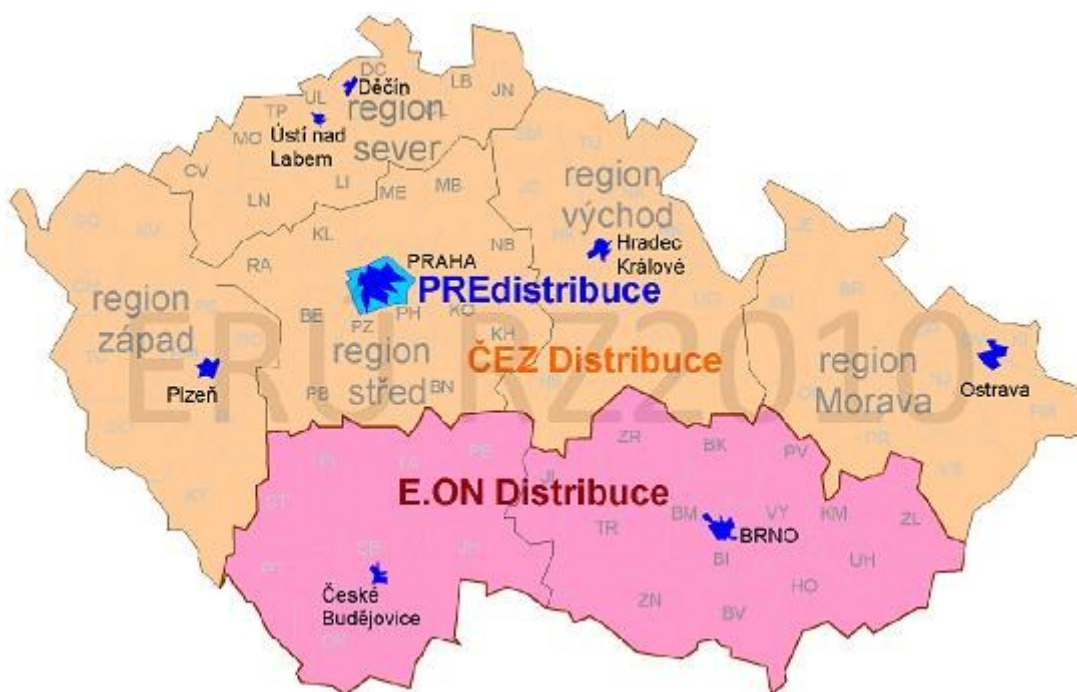


Graf 6.1 přehled počtu odstávek za roky 2002 až 2012 dle napěťových hladin

Z uvedených údajů je zřejmý skokový nárůst odstávek na hladině VN v letech 2008 a 2009. Tento nárůst byl způsoben zařazením jedné významné lokální distribuční soustavy do části distribuční soustavy sledované v této práci z důvodu majetkového propojení.

6.2 Rozsah zkoumané oblasti

Základem práce je analýza plánovaných odstávek za období od 1.1.2008 do 31.12.2012 v části distribuční soustavy ČEZ Distribuce, konkrétně v regionu Morava. Celkem je v této práci zpracována databáze téměř 67000 odstávek na napěťových hladinách VVN, VN a NN.

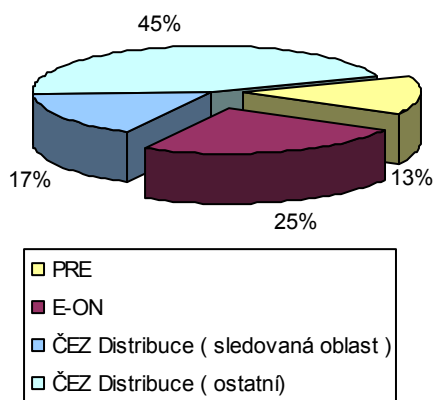
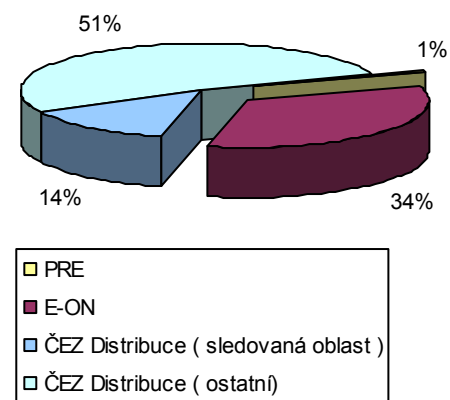


Obr 6.2 rozdělení území ČR dle distributorů

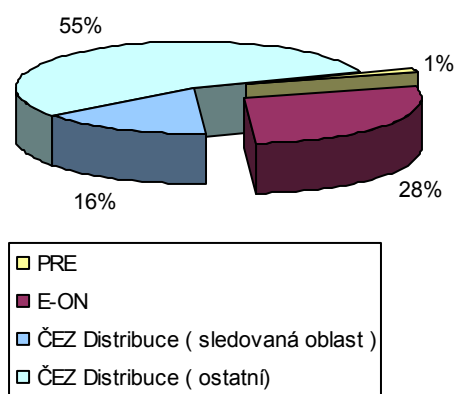
Jedná se o významnou část distribuční soustavy ČR. Procentní podíl zkoumané oblasti v porovnání se všemi distribučními společnostmi v ČR je graficky znázorněn podle následujících kritérií [8]:

- počet připojených zákazníků - Graf 6.2 (podíl sledované oblasti 17%)
- rozloha zásobovaného území - Graf 6.3 (podíl sledované oblasti 14%)
- délka vedení VVN - Graf 6.4 (podíl sledované oblasti 16%)
- délka vedení VN - Graf 6.5 (podíl sledované oblasti 12%)
- délka vedení NN – Graf 6.6 (podíl sledované oblasti 17%)
- počet transformoven VVN/VN –Graf 6.7 (podíl sledované oblasti 18%)

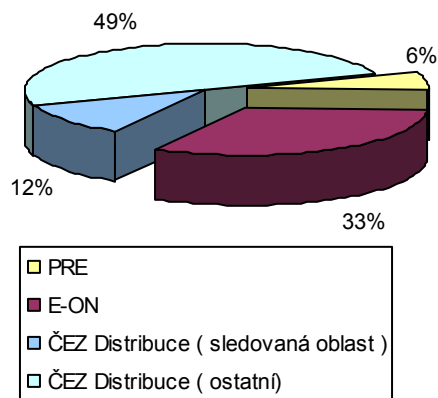
Graf 6.2 Připojení zákazníci [ks]

Graf 6.3 zásobované území [km²]

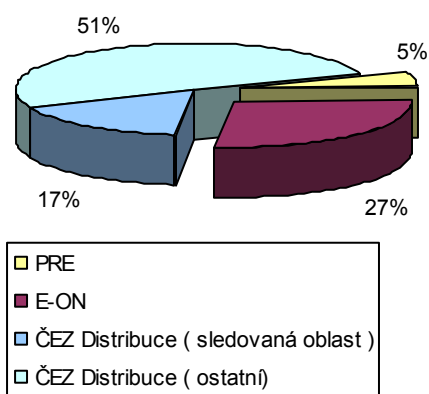
Graf 6.4 Vedení VVN [km]



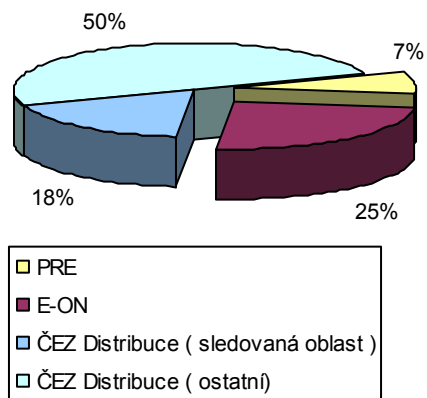
Graf 6.5 Vedení VN [km]



Graf 6.6 Vedení NN [km]



Graf 6.7 Transformovny [ks]



Důležité je také znát rozsah jednotlivých druhů zařízení ve zkoumané oblasti. Tyto údaje jsou uvedeny v následujících tabulkách. [6]

Venkovní vedení 110 kV - jednoduché vedení - délka trasy	km	232
Venkovní vedení 110 kV - dvojité vedení - délka trasy	km	959
Venkovní vedení 110 kV - tří a čtyřnásobné vedení - délka trasy	km	7
Venkovní vedení 110 kV - rozv. délka TÚ celkem	km	2 178
Kabelové vedení 110 kV - rozv. délka TÚ celkem	km	2
Podpěrné body VN	ks	95 392
Venkovní vedení VN - rozv. délka TÚ celkem	km	7 701
Kabelové vedení VN - rozv. délka TÚ celkem	km	2 438
Vedení VN - rozvinutá délka celkem	km	10 139
Podpěrné body NN	ks	530 528
Venkovní vedení NN - rozv. délka TÚ celkem	km	15 733
Kabelové vedení NN - rozv. délka TÚ celkem	km	8 820
Vedení NN - rozvinutá délka celkem	km	24 553

Tabulka 6.2 délky vedení dle napěťových hladin

Stanice VVN/VVN	Ks	6
Stanice VVN/VN	Ks	55
Distribuční stanice VN/NN	Ks	9 496
Stanice VN/VN	Ks	13
Spínací stanice	Ks	38
Transformátory VN/VN	Ks	36
Transformátory VVN/VN	Ks	132
Transformátory VN/NN (DTR)	Ks	11 170

Tabulka 6.3 počty stanic a transformátorů

Napěťová hladina	Počet připojených zákazníků (ks)
VVN	26
VN	3810
NN	953210

Tabulka 6.4 počet připojených zákazníků

Stanice	VVN/VVN	počet	6
	VVN/VN	počet	55
transformátory	třířázové	počet	132
	celkový inst.výkon	MVA	5 208
Vypínače	třířázové skupiny	počet	436
pole – kobky	celkem	počet	613
	z toho: vývodová pole	počet	260
	vybavené rezervy	počet	5

Tabulka 6.5 vybavení stanic VVN

	v budově	kioskové	věžové	příhradové	betonové	ostatní	celkem
stanice 3,5,6 kV							
TS (ks)	105	52	0	1	1	0	159
stání (ks)	95	53	0	1	0	0	149
TR (ks)	93	52	0	1	0	0	146
IV (kVA)	39036	19870	0	163	0	0	59 069
stanice 10 kV							
TS (ks)	104	99	1	0	1	0	205
stání (ks)	114	102	1	0	1	0	218
TR (ks)	112	100	1	0	1	0	214
IV (kVA)	45821	40303	409	0	409	0	86 942
stanice 22 kV							
TS (ks)	1091	1278	371	3640	2733	19	9 132
stání (ks)	1 788	1 853	487	4 116	2 972	71	11 287
TR (ks)	1733	1713	461	3997	2838	68	10 810
IV (kVA)	508951	582795	97384	854499	628106	3445	2 675 180
CELKEM							
TS (ks)	1 300	1 429	372	3 641	2 735	19	9 496
stání (ks)	1 997	2 008	488	4 117	2 973	71	11 654
TR (ks)	1 938	1 865	462	3 998	2 839	68	11 170
IV (kVA)	593 808	642 968	97 793	854 662	628 515	3 445	2 821 191

Tabulka 6.6 počty vybavení distribučních stanic

6.3 Analýza dle typu zařízení

6.3.1 *rozdělení zařízení dle typů*

Pro účely této práce je zařízení rozděleno do následujících skupin:

- linie vzdušné
- linie kabelové
- stanice
 - rozvodny
 - distribuční stanice (DTS)

6.3.1.1 linie vzdušné

Do této skupiny jsou zařazeny odstávky na venkovních vedeních všech napěťových hladin. Mezi tato zařízení spadají na hladině VN také úsekové spínače všech typů včetně dálkově ovládaných. Patří zde také kabelová zaústění volných vedení do rozvoden nebo DTS.

6.3.1.2 linie kabelové

V této kategorii jsou všechna kabelová vedení včetně koncovek ve stanicích. Na hladině NN do této skupiny spadají také rozpojovací pojistkové skříně.

6.3.1.3 stanice

Tato kategorie zařízení je rozdělená do dvou podskupin.

6.3.1.3.1 rozvodny

Pod rozvodny spadá veškeré zařízení v transformovných ZVN/VVN, VVN/VN, VN/VN a spínacích stanicích VVN a VN. Jedná se například o transformátory, silové vybavení polí a kobek, ovládací skříně, ochrany atd.

6.3.1.3.2 distribuční stanice (DTS)

Zařízení DTS spadá jak pod napěťovou hladinu VN tak i NN. Pod hladinu VN spadají kobky a rozvaděče VN. Pod napěťovou hladinu VN spadají také transformátory. Pod hladinu NN spadají veškeré NN rozvaděče.

6.3.2 *Vyhodnocení počtu odstávek dle typů zařízení*

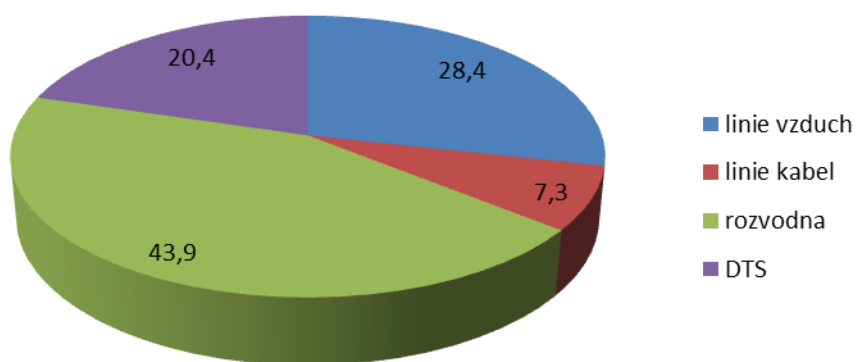
Počty odstávek dle jednotlivých typů zařízení jsou uvedeny v tabulkách 6.7, 6.8 a v grafech 6.8 až 6.11. Jsou zde uvedeny počty kumulované i dle jednotlivých napěťových hladin.

Napětová hladina	Druh zařízení	2008	2009	2010	2011	2012	Celkem
VVN	linie vzduch	342	208	339	291	286	1466
	linie kabel	2	0	1	2	0	5
	rozvodna	1499	1664	2196	2128	2091	9578
VN	linie vzduch	2154	3153	2739	2771	2249	13066
	linie kabel	884	808	627	712	277	3308
	DTS	1650	1693	2379	2885	2891	11498
	rozvodna	1687	2258	4468	4977	4501	17891
NN	linie vzduch	789	826	563	613	482	3273
	linie kabel	199	264	267	291	239	1260
	DTS	307	268	187	268	234	1264

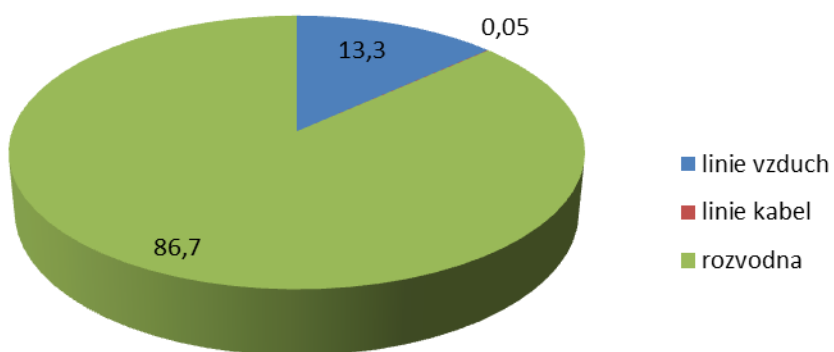
Tabulka 6.7 odstávky dle typů zařízení a napěťových hladin

Napětová hladina	Druh zařízení	2008	2009	2010	2011	2012	Celkem
VVN+VN+NN	linie vzduch	3285	4187	3641	3675	3017	17805
	linie kabel	1085	1072	895	1005	516	4573
	rozvodna	3186	3922	6664	7105	6592	27469
	DTS	1957	1961	2566	3153	3125	12762

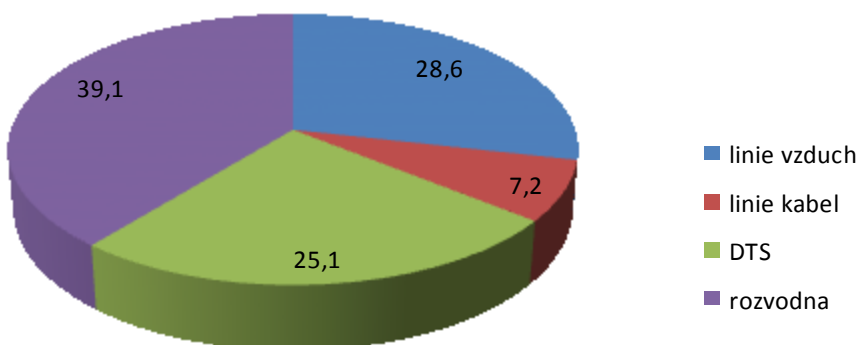
Tabulka 6.8 odstávky dle typů zařízení celkem



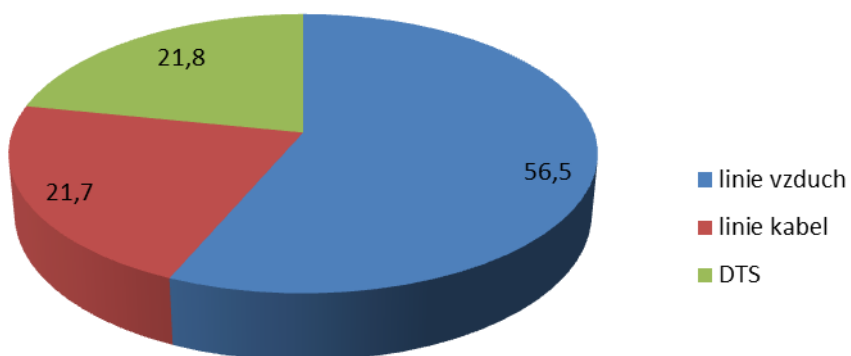
Graf 6.8 podíl jednotlivých typů zařízení na odstávkách celkem [%]



Graf 6.9 podíl jednotlivých typů zařízení na odstávkách VVN [%]



Graf 6.10 podíl jednotlivých typů zařízení na odstávkách VN [%]



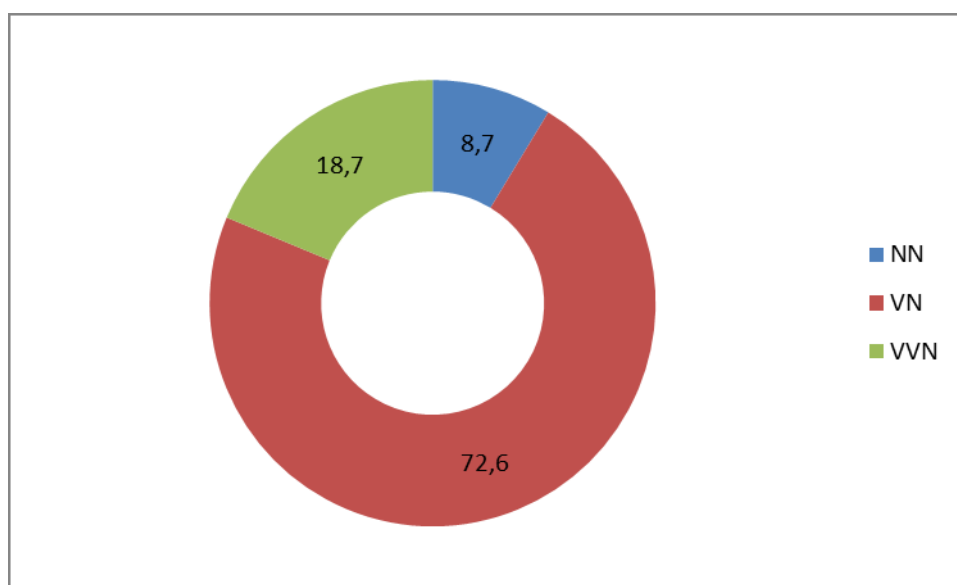
Graf 6.11 podíl jednotlivých typů zařízení na odstávkách NN [%]

6.4 Analýza dle napěťových hladin

V této podkapitole jsou analyzovány počty odstávek na jednotlivých napěťových hladinách. Výsledky jsou zřejmé z tabulky 6.9. Graficky pak jsou znázorněny v grafu 6.12. Z uvedených výsledků je zřejmé, že podstatná většina odstávek probíhá na hladině VN. Také v ostatních podkapitolách analýzy dat, jsou odstávky pro názornost členěny také podle napěťových hladin.

ROK	NN	VN	VVN	Celkem
2008	1330	8525	2695	12550
2009	1355	10060	2505	13920
2010	1016	9702	2567	13285
2011	1175	10801	2438	14414
2012	955	9681	2376	13012
Celkem	5831	48769	12581	67181

Tabulka 6.9 počty odstávek dle napěťových hladin



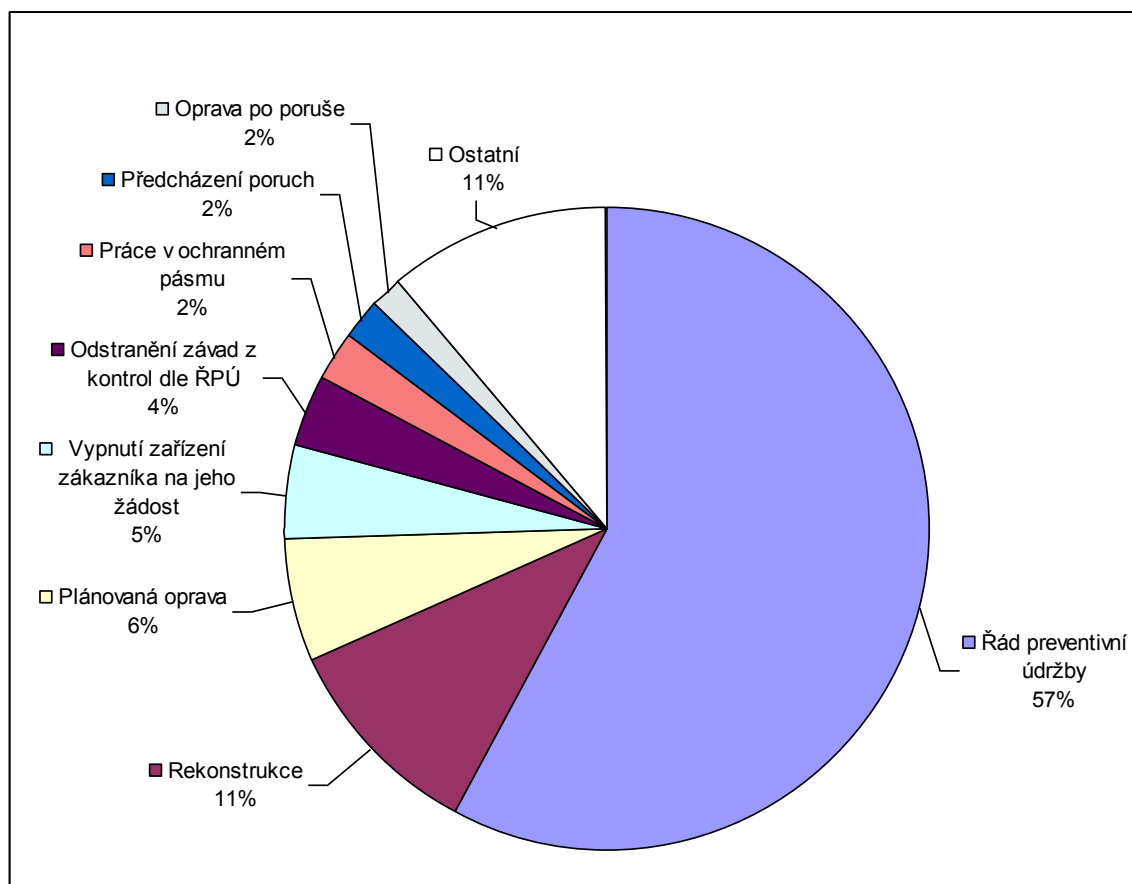
Graf 6.12 podíl odstávek za roky 2008 až 2012 dle napěťových hladin [%]

6.5 Analýza dle příčin

Důležitým hlediskem pro analýzu odstávek je příčina odstávky. V databázi, která je pro tuto práci k dispozici jsou odstávky dle příčin rozděleny do následujících kategorií: [15]

- Řád preventivní údržby
- Rekonstrukce
- Plánovaná oprava
- Přeložka vedení
- Připojení nového zařízení
- Práce v ochranném pásmu
- Výměna oleje kabel
- Náhradní napájení transformovny
- Vypnutí zařízení zákazníka na jeho žádost
- Odstranění závad z kontrol dle ŘPÚ
- Předcházení poruch
- Oprava po poruše
- Výměna transformátoru
- Oprava nefunkčního úsekového odpínače
- Vypnutí NN pro práce na VN
- Vypnutí VN pro práce na VVN
- Manipulace na tmu
- Odstranění závad z přejímky
- Oprava zařízení po kalamitě
- Ostatní

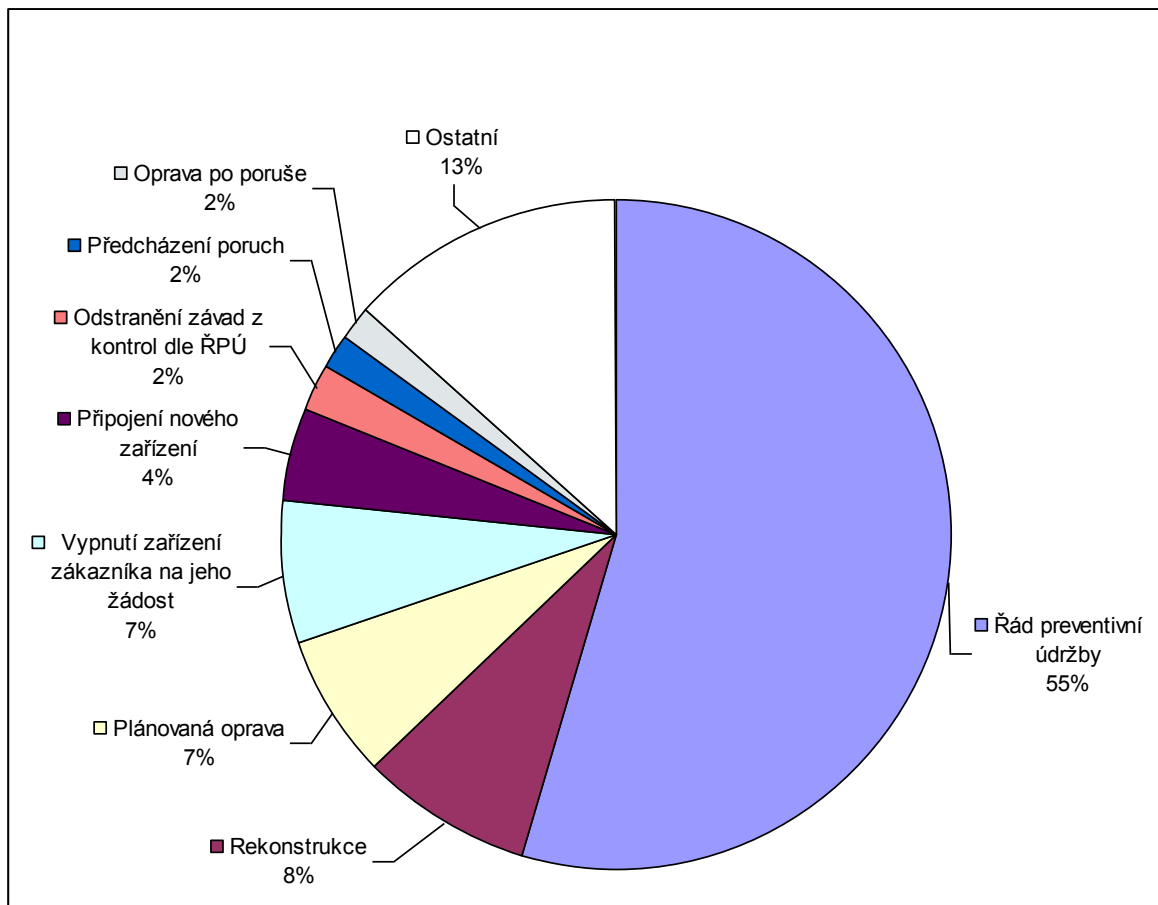
Rozdělení odstávek podle příčin, s dělením dle napěťových hladin je znázorněn na následujících grafech. Hranice pro zobrazení příčiny v grafech je stanovena na 1% z celkového počtu odstávek za roky 2008 až 2012. Zbylé kategorie příčin odstávek jsou kumulovány v položce „ostatní“.



Graf 6.13 Rozdělení odstávek VVN dle příčin [%]

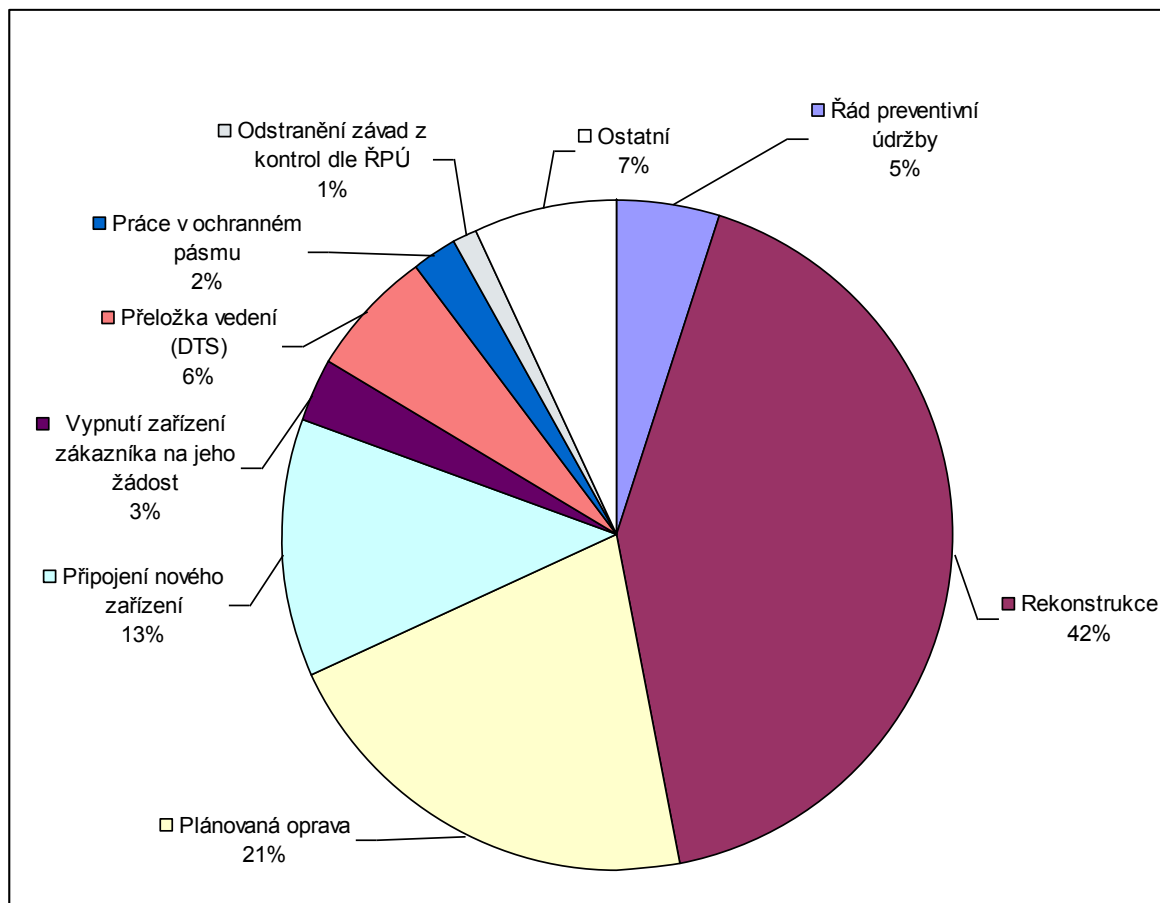
Graf 6.13 znázorňuje rozdělení odstávek dle příčin na napěťové hladině VVN v letech 2008 až 2012.

Z výsledků je zřejmé, že výrazně nejčastější příčinou odstávek jsou v této kategorii práce pro provedení údržby dle ŘPÚ. Tato kategorie je příčinou 57% všech odstávek na této napěťové hladině. S 11% jsou druhou nejčastější příčinou odstávky z důvodu provádění rekonstrukcí na zařízení VVN. Do této kategorie patří, jak uvolnění samotných zařízení na kterých je rekonstrukce prováděna (vedení VVN, pole v rozvodnách atd.), tak také uvolnění zařízení, která jsou pro danou rekonstrukci vypínána z bezpečnostních důvodů (sousední pole v rozvodnách, křižující vedení atd.). Ostatní příčiny se podílejí na celkovém počtu odstávek méně než 10%. 6% příčin tvoří plánované opravy. Jedná se o opravy závad zařízení, které není nutné opravovat bezprostředně po zjištění závady. 5% odstávek je tvořeno požadavky zákazníků na vypnutí vlastních zařízení a také zařízení sloužících k napájení zákazníků. Příčinou 4% odstávek je odstranění závad zjištěných při kontrolách prováděných dle ŘPÚ. Dalšími příčinami odstávek jsou práce v ochranném pásmu, předcházení poruch a oprava po poruše. Každá z těchto kategorií byla příčinou 2% odstávek. Ostatní kategorie se podílely na odstávkách na napěťové hladině méně než 1% a jsou kumulovaně zahrnuté v položce ostatní.



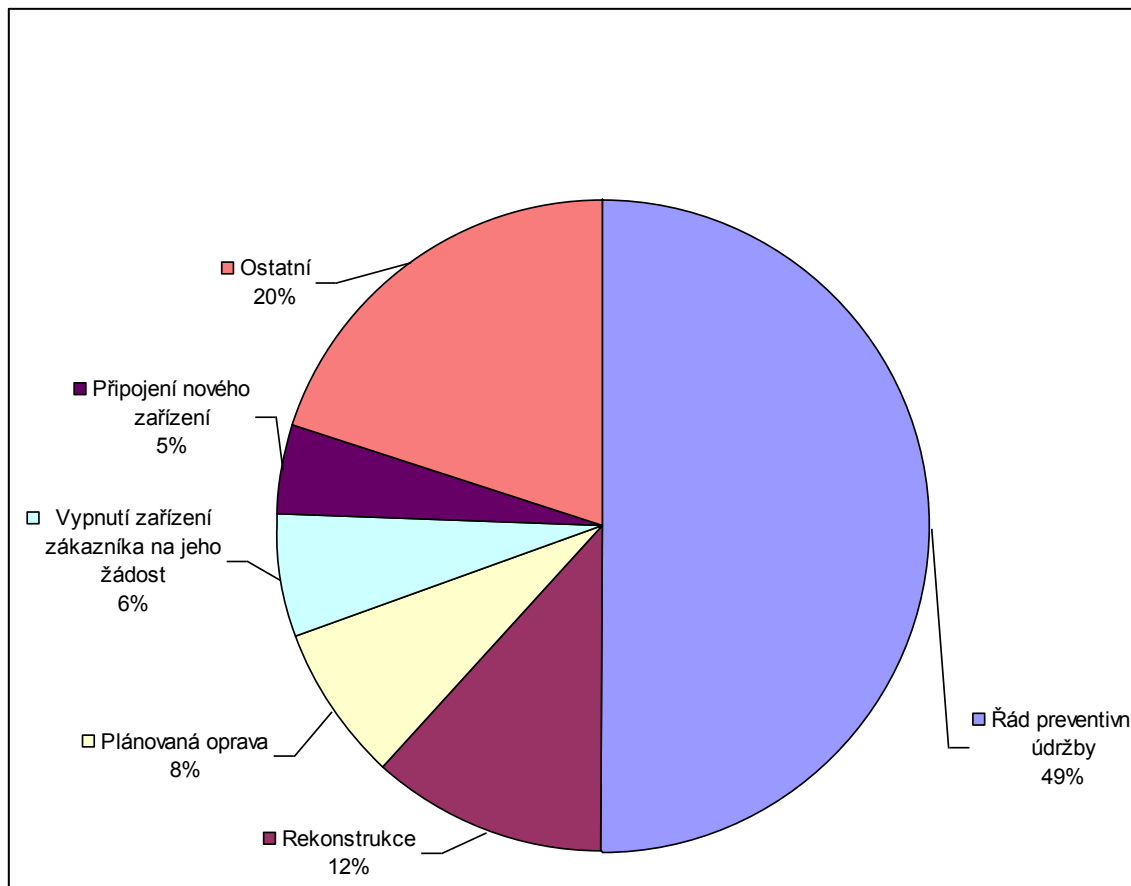
Graf 6.14 Rozdělení odstávek VN dle příčin [%]

Rozložení příčin odstávek na napěťové hladině VN je zřejmé z grafu 6.14. Stejně jako na napěťové hladině VVN je nejčastější příčinou odstávek provádění prací dle ŘPÚ. Na hladině VN je tato kategorie příčinou 55% z celkového počtu odstávek. Žádná z ostatních kategorií nepřesahuje hodnotu 10% odstávek. Rekonstrukce zařízení jsou příčinou 8% odstávek, plánované opravy 7%, vypnutí zařízení zákazníka na jeho žádost také 7%. Kategorií, která se na hladině VVN nevyskytovala, je připojení nového zařízení. Jedná se zejména o připojování nových DTS. Na hladině VN je tato kategorie příčinou 4% odstávek. Odstranění závad z kontrol dle ŘPÚ je příčinou 2% odstávek, stejně jako kategorie předcházení poruch a oprava po poruše. Odstávky, které spadají do kategorií s méně, než 1% podílu na celkovém počtu odstávek tvoří celkem 13% odstávek.



Graf 6.15 Rozdělení odstávek NN dle příčin [%]

Podíl jednotlivých kategorií příčin odstávek na napěťové hladině NN je znázorněn grafem 6.15. Na rozdíl od napěťových hladin VVN a VN na hladině NN nejsou hlavní příčinou odstávek práce dle ŘPÚ. Tyto práce zde tvoří pouze 5% odstávek. Na hladině NN jsou práce dle ŘPÚ prováděny převážně pod napětím a nevyžadují tedy odstávky zařízení. Nejčastější příčinou odstávek na hladině NN jsou s 42% rekonstrukce zařízení. Významný podíl na celkovém počtu odstávek mají v této kategorii plánované opravy, konkrétně se jedná o 21% odstávek. 13% odstávek tvoří odstávky, jejichž příčinou je připojení nového zařízení. 6% odstávek je způsobeno přeložkami vedení. Tato kategorie na napěťových hladinách VVN a VN nebyla znázorněna. Dosahovala zde hodnot menších než 1% a v grafickém znázornění byla zahrnuta v položce ostatní. Na hladině NN jsou graficky znázorněny ještě kategorie vypnutí zákazníka na jeho žádost se 3% podílu, 2% odstávek jsou způsobena pracemi v ochranném pásmu a 1% spadá do kategorie odstranění závad z kontrol dle ŘPÚ.



Graf 6.16 Rozdělení odstávek VVN+VN+NN dle příčin [%]

Graf 6.16 znázorňuje rozdělení dle příčin celkového počtu odstávek bez rozlišení napět'ových hladin za roky 2008 až 2012. Z grafu je zřejmé, že i v kumulativním rozdělení je téměř polovina (49%) všech odstávek zapříčiněna prováděním údržby dle ŘPÚ. V této kategorii je tedy i v celkovém počtu zachována výrazná převaha z napět'ových hladin VVN a VN. Nízké procento kategorie ŘPÚ z napět'ové hladiny NN se v celkovém rozdělení příliš neprojevilo. Tato skutečnost je dána celkově nižším počtem odstávek na hladině NN (viz. kapitola 6.4). Druhou nejvýznamnější kategorií příčin odstávek jsou rekonstrukce zařízení s 12% podílu na celkovém počtu odstávek. V grafickém znázornění jsou ještě znázorněny kategorie plánovaná oprava s 8% , vypnutí zákazníka na jeho žádost s 6% a připojení nového zařízení s 5% odstávek. Ostatní kategorie nedosahují v celkovém počtu odstávek podílu 1% a jsou zahrnuty v položce ostatní.

6.6 Analýza časového rozložení

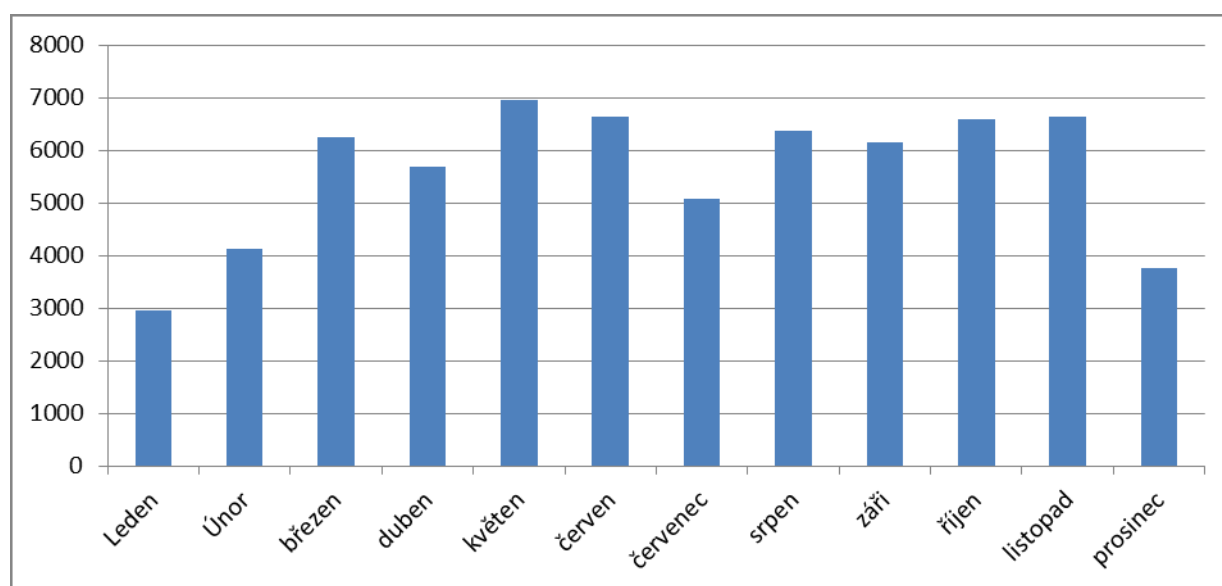
Analýza časového rozložení odstávek je provedena v rozdělení:

- rozložení odstávek v jednotlivých měsících roku
- rozložení odstávek v jednotlivých dnech týdne
- rozložení v hodinách dne

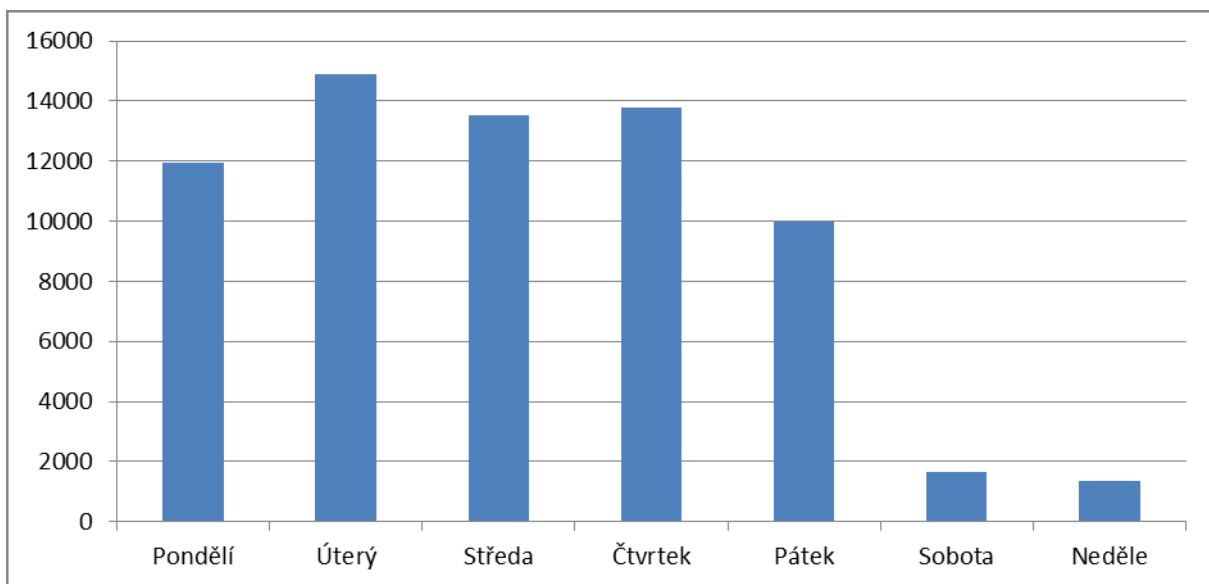
Výsledky pro rozložení odstávek v měsících roku jsou znázorněny v grafu 6.17. a rozložení ve dnech v týdnu v grafu 6.18. Konkrétní vyčíslení obou kategorií je pak uvedeno ve společné tabulce 6.10.

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle	celkem
Leden	583	560	564	638	472	60	83	2961
Únor	708	1013	828	897	578	37	60	4122
Březen	1008	1439	1485	1323	786	97	111	6250
Duben	865	1184	1124	1226	1036	167	79	5681
Květen	1337	1545	1360	1369	1073	120	157	6962
Červen	1087	1240	1577	1587	934	130	79	6633
Červenec	763	1059	897	1101	953	171	134	5079
Srpen	1267	1601	1420	1059	726	171	120	6365
Září	1124	1175	985	1499	1133	120	106	6143
Říjen	1480	1369	1258	1240	823	250	162	6583
Listopad	1124	1860	1420	1032	847	213	139	6633
Prosinec	611	851	615	819	615	134	125	3770
Celkem	11958	14895	13535	13790	9978	1670	1355	67181

Tabulka 6.10 rozložení odstávek v měsících roku a ve dnech týdne



Graf 6.17 rozložení odstávek v měsících roku

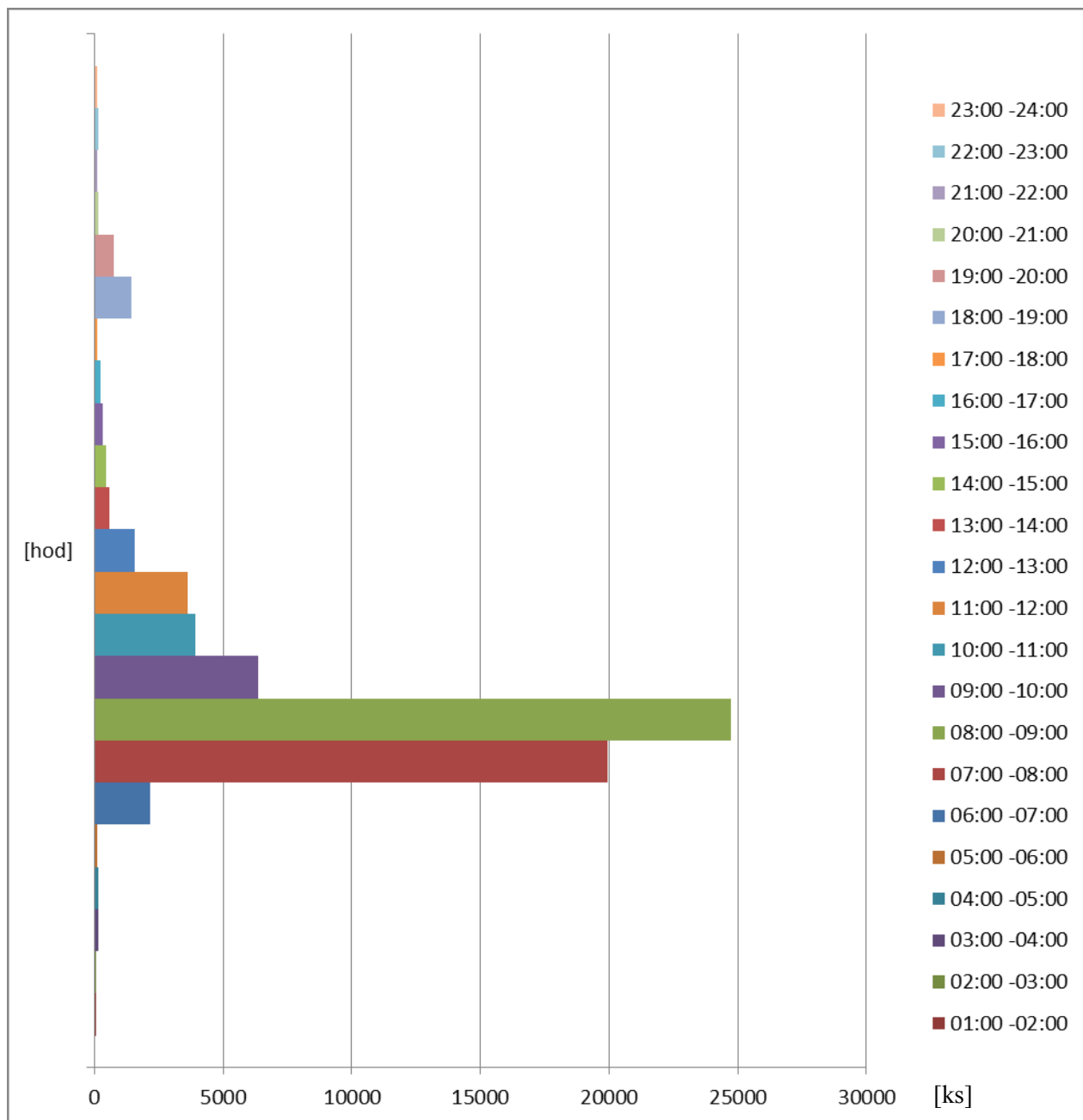


Graf 6.18 rozložení odstávek ve dnech týdne

Rozložení odstávek v hodinách dne je uvedeno v tabulce 6.11 a v grafu 6.19. Je zde uváděna vždy hodina začátku odstávky. Je zřejmé, že naprostá většina odstávek je zahajována mezi 7 a 9 hodinou, téměř všechny odstávky jsou pak realizovány v době od 6 do 14 hodin. Toto rozložení pak znamená nevyrovnané vytížení dispečerských pracovišť i skupin provádějících zajištění odstávek v terénu.

hodina	počet odstávek	hodina	počet odstávek
00:00 -01:00	38	12:00 -13:00	1570
01:00 -02:00	30	13:00 -14:00	590
02:00 -03:00	51	14:00 -15:00	453
03:00 -04:00	157	15:00 -16:00	341
04:00 -05:00	154	16:00 -17:00	215
05:00 -06:00	109	17:00 -18:00	98
06:00 -07:00	2170	18:00 -19:00	1419
07:00 -08:00	19925	19:00 -20:00	741
08:00 -09:00	24742	20:00 -21:00	156
09:00 -10:00	6358	21:00 -22:00	93
10:00 -11:00	3911	22:00 -23:00	146
11:00 -12:00	3613	23:00 -24:00	112

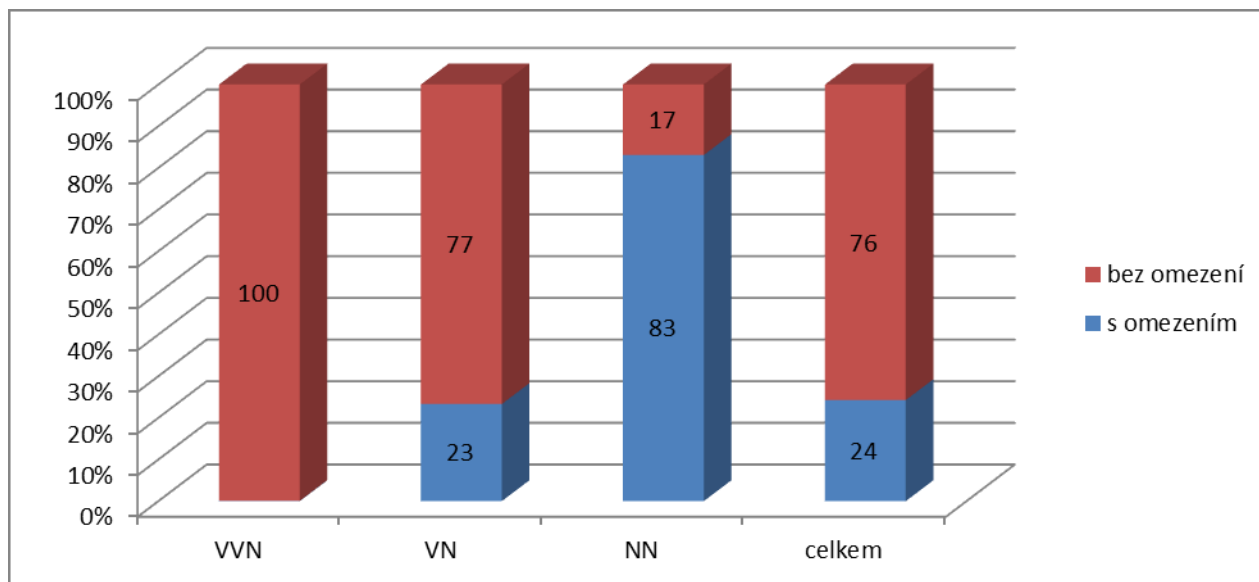
Tabulka 6.11 rozložení odstávek v hodinách dne



Graf 6.19 rozložení odstávek v hodinách dne

6.7 Analýza vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce

Vliv na ukazatele nepřetržitosti distribuce mají pouze odstávky s omezením odběratelů. Procentní podíl těchto odstávek na celkovém počtu odstávek je zřejmý z grafu 6.20. Z grafu vyplývá, že 24% všech odstávek má vliv na ukazatele nepřetržitosti distribuce.



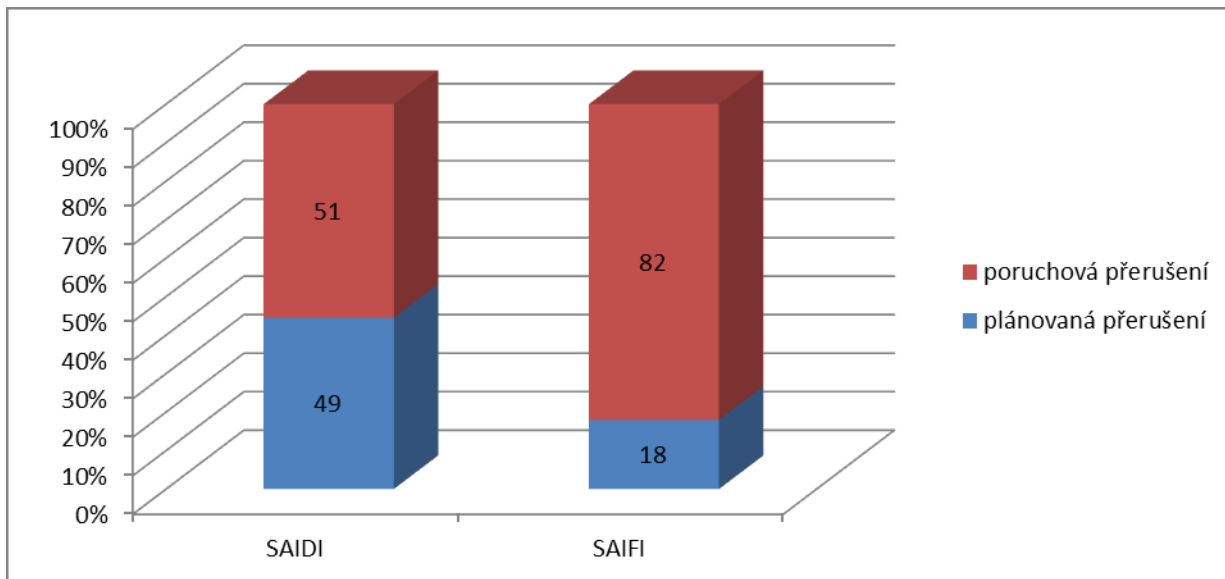
Graf 6.20 podíl odstávek s omezením dodávky

Dopad na ukazatele nepřetržitosti distribuce mají přerušení dodávky odběratelům a to přerušení neplánovaná (poruchová) i plánovaná, způsobena plánovanými odstávkami zařízení distribuční soustavy. Podíl plánovaných a neplánovaných přerušení na jednotlivých druzích ukazatelů nepřetržitosti je znázorněn na grafech 6.21 SAIDI, SAIFI a 6.22 CAIDI.

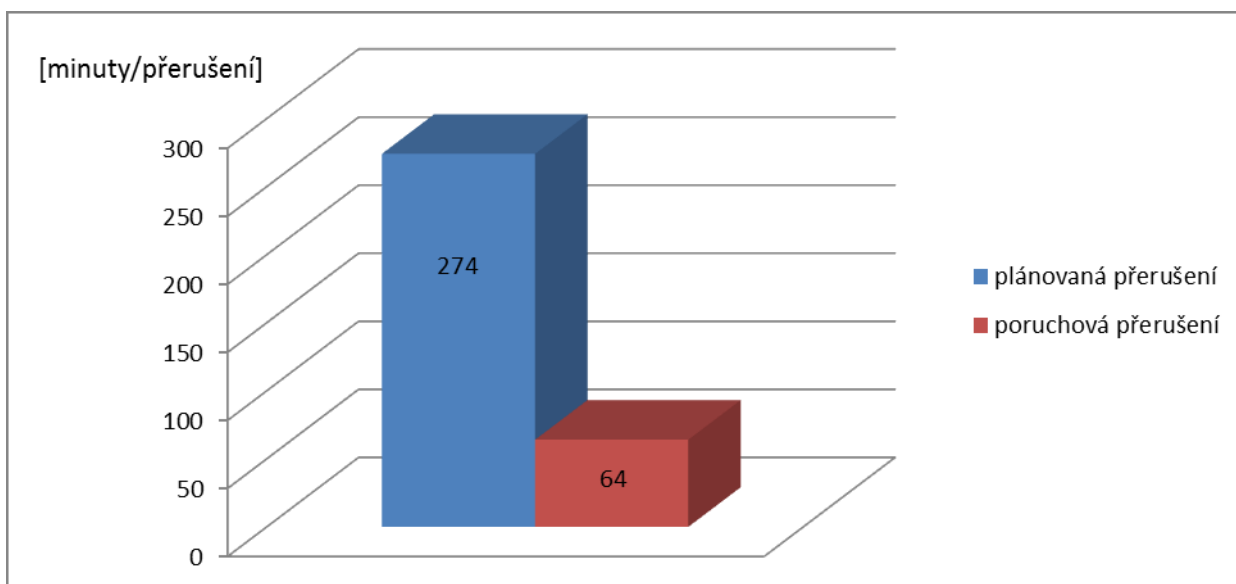
Pro vykazování ERU je požadována struktura typů přerušení následující:

- neplánované přerušení vlivem zařízení distribuční soustavy za obvyklých povětrnostních podmínek
- neplánované přerušení v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
- neplánované přerušení v důsledku události mimo soustavu a u výrobce
- neplánované přerušení mimořádné
- neplánované přerušení vynucené
- neplánované přerušení vlivem zařízení distribuční soustavy za nepříznivých povětrnostních podmínek
- plánovaná přerušení

Pro tuto práci je důležité srovnání vlivu neplánovaných a plánovaných přerušení. Z tohoto důvodu jsou různé typy neplánovaných přerušení brány jako jeden celek.



Graf 6.21 podíl odstávek s omezením dodávky na ukazatelích SAIDI, SAIFI

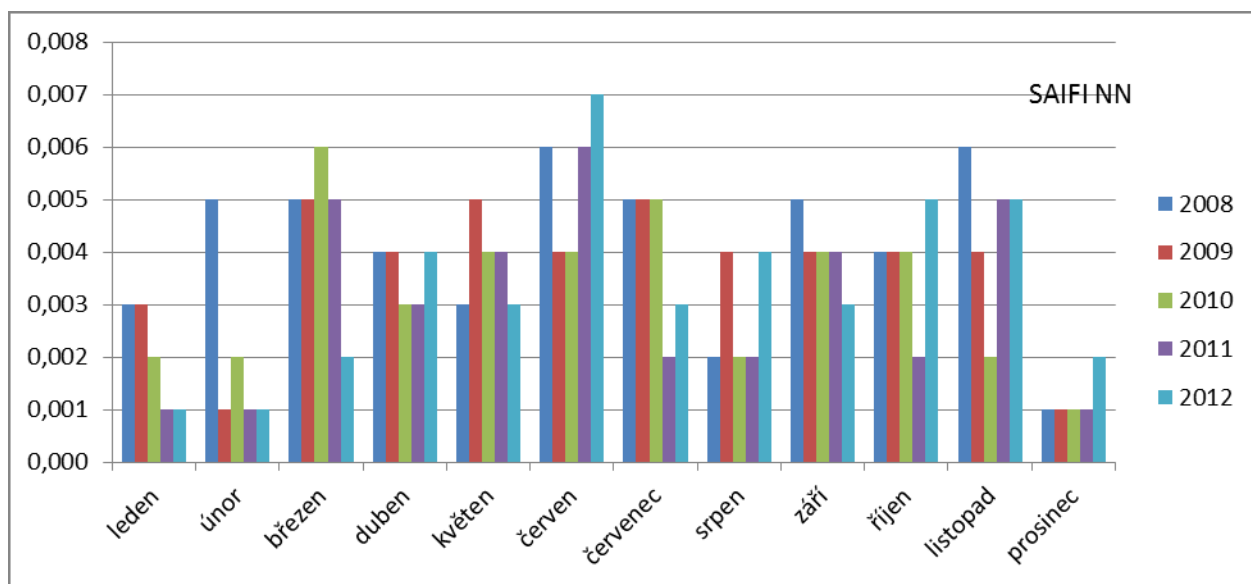


Graf 6.22 podíl odstávek s omezením dodávky na ukazateli CAIDI

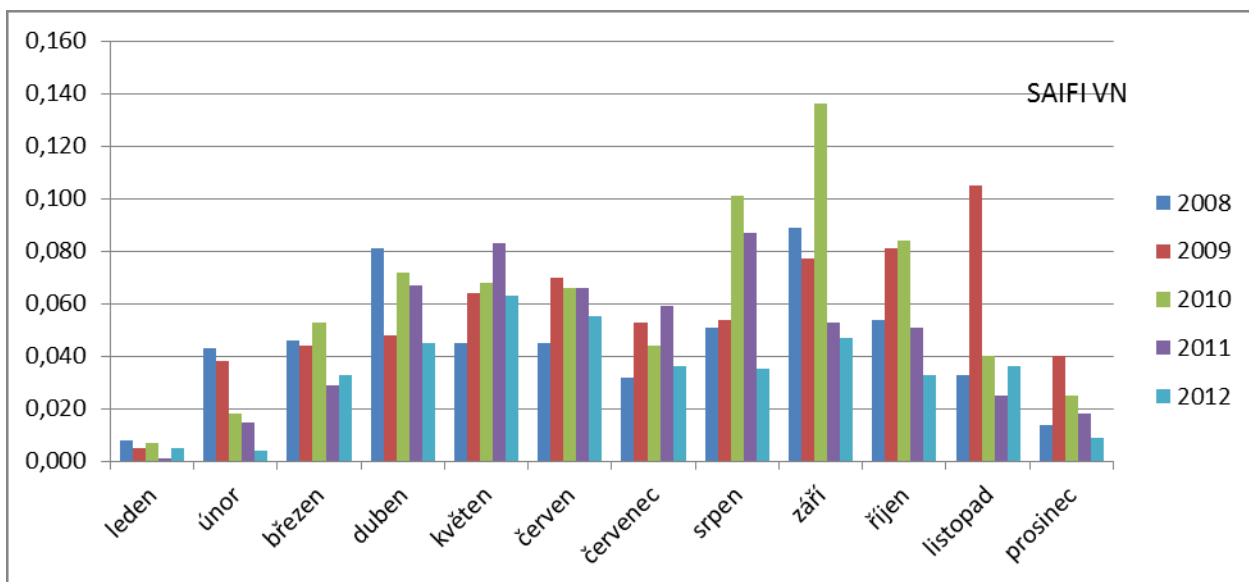
Z uvedených grafů je zřejmé, že podíl plánovaných odstávek s omezením zákazníků na ukazatelích nepřetržitosti distribuce je značný. U ukazatele SAIDI jde o téměř poloviční podíl na průměrné době jednoho přerušení distribuce zákazníkům. Neplánových přerušení (poruch) je sice kumulativně více, ale doba trvání jednoho přerušení je u plánovaných prací podstatně vyšší.

Na grafech 6.23 až 6.26 je prezentován vliv odstávek na jednotlivé ukazatele nepřetržitosti distribuce v letech 2008 až 2012 v rozdělení podle napěťových hladin a jednotlivých měsíců v roce. Odstávky na hladině VVN mají za následek omezení dodávky odběratelům je výjimečně. Z tohoto důvodu do této analýzy zahrnuty nejsou. Z uvedených grafů je zřejmé, že nejvíce se na ukazatelích nepřetržitosti distribuce podílí přerušení dodávky na napěťové hladině VN. Graf 6.27 znázorňuje vliv plánovaných odstávek na ukazatel CAIDI kumulovaně na všech napěťových hladinách.

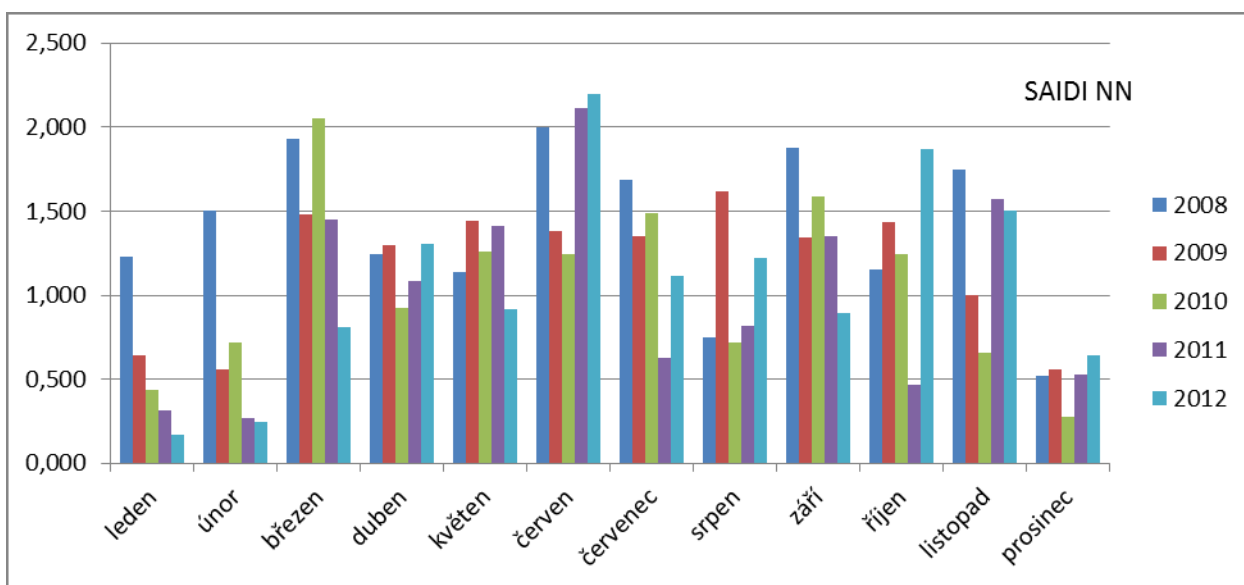
Uvedené výsledky ukazují, že u plánovaných přerušení je značný prostor pro snížení celkové úrovně ukazatelů nepřetržitosti distribuce.



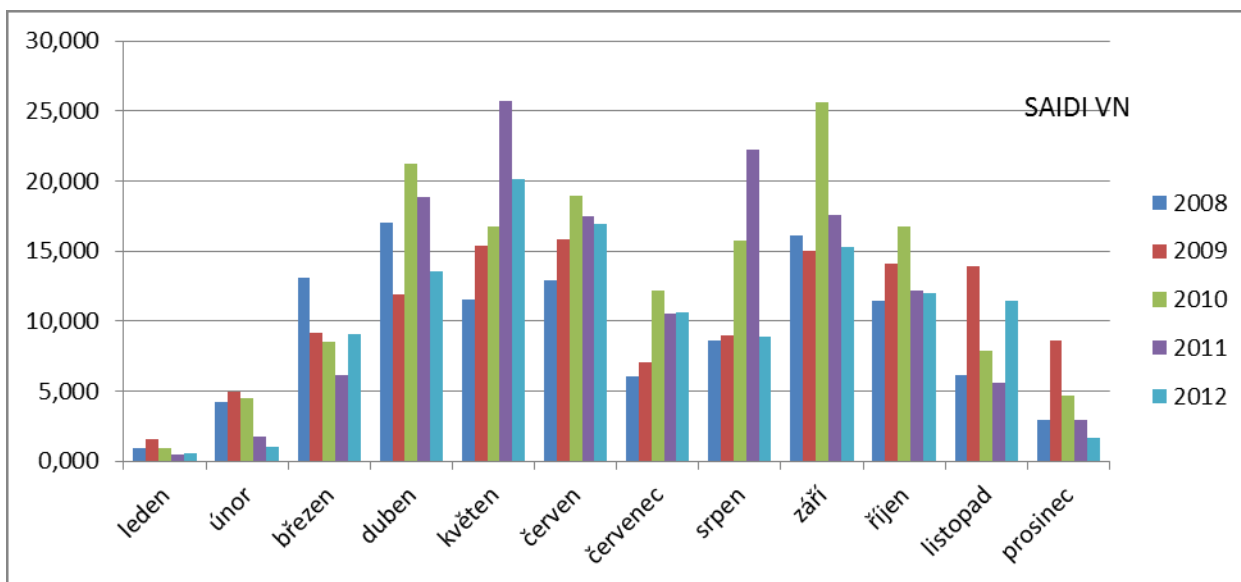
Graf 6.23 Ukazatele SAIFI na hladině NN [počet přerušení/rok/zákazníka]



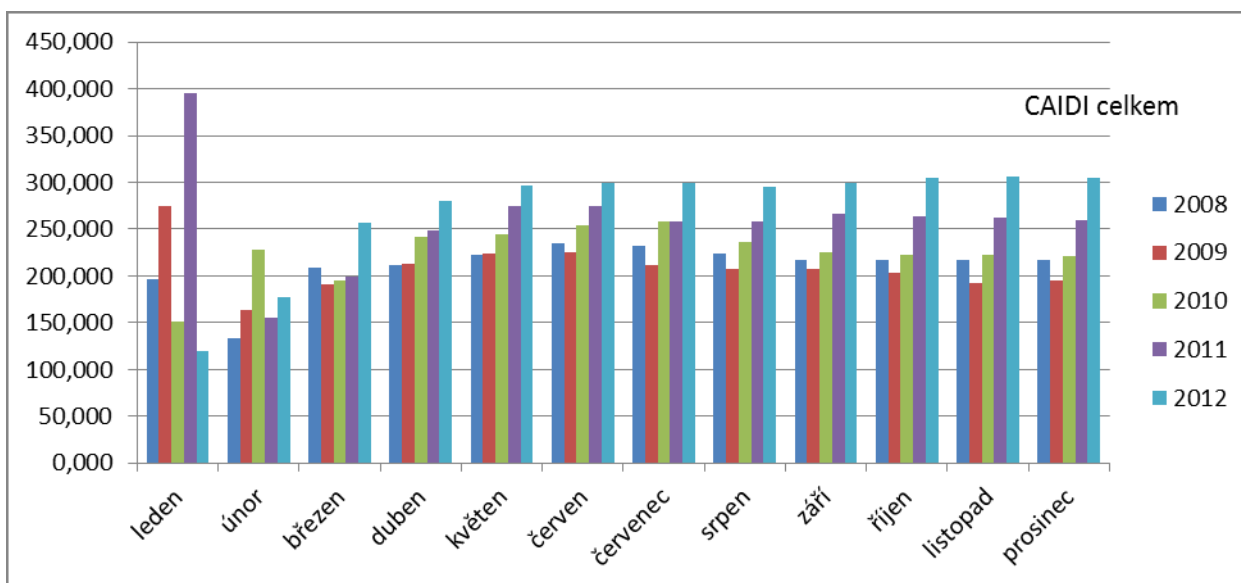
Graf 6.24 Ukazatele SAIFI na hladině VN [počet přerušení/rok/zákazníka]



Graf 6.25 Ukazatele SAIDI na hladině NN [minut/rok/zákazníka]



Graf 6.26 Ukazatele SAIDI na hladině VN [minut /rok/ zákazníka]



Graf 6.27 Ukazatele CAIDI celkem [minuta / přerušení]

7 Výpočet nákladů na odstávky

Při stanovení průměrné ceny 1 odstávky musíme započítat všechny činnosti spojené s odstávkou od vzniku požadavku na odstávku až po její vyhodnocení po skončení. [10] Nezabývám se zde pracemi prováděnými v rámci odstávky, ale pouze činnostmi nutnými pro přípravu požadavku, uvolnění zařízení z provozu a opětné zprovoznění zařízení.

7.1 Rozdělení činnosti:

1) Vytvoření požadavku na základě:

- a) plán ŘPÚ
- b) požadavek na investiční výstavbu
- c) požadavek na opravy zařízení

$$N_v = T_v \times HZS_v \text{ [Kč]} \quad 7.1$$

N_v náklady na vytvoření požadavku [Kč]

T_v čas potřebný pro vytvoření požadavku [h]

HZS_v hodinová zúčtovací sazba pro vytvoření požadavku [Kč]

2) Zpracování požadavku v přípravě provozu:

- a) určení požadovaného rozsahu vypnuté oblasti
- b) sestavení plánu nutných provozních manipulací
- c) zajištění obsluh pro provedení manipulací
- d) ohlášení přerušování dodávky zákazníkům dle platné legislativy

$$N_z = T_z \times HZS_z \text{ [Kč]} \quad 7.2$$

N_z náklady na zpracování požadavku [Kč]

T_z čas potřebný pro zpracování požadavku [h]

HZS_z hodinová zúčtovací sazba pro zpracování požadavku [Kč]

3) Provedení odstávky v reálném čase:

- a) činnost dispečera
- b) činnost provozních čet v terénu, pro provedení nutných manipulací

$$N_p = T_p \times HZSp \text{ [Kč]} \quad 7.3$$

N_p náklady na provedení odstávky v reálném čase [Kč]

T_p čas potřebný pro provedení odstávky v reálném čase [h]

$HZSp$ hodinová zúčtovací sazba pro provedení odstávky v reálném čase [Kč]

4) Vyhodnocení odstávky:

a) vyhodnocení dopadu na ukazatele nepřetržitosti distribuce.

$$N_h = T_h \times HZSh \text{ [Kč]} \quad 7.4$$

N_h náklady na vyhodnocení odstávky [Kč]

T_h čas potřebný pro vyhodnocení odstávky [h]

$HZSh$ hodinová zúčtovací sazba pro vyhodnocení odstávky [Kč]

7.2 Celkové náklady na odstávku N_c :

$$N_c = N_v + N_z + N_p + N_h \text{ [Kč]} \quad 7.5$$

Pro účely této práce byl proveden odhad časové náročnosti jednotlivých činností na základě zkušeností z praxe a konzultací s pracovníky, kteří uvedené činnosti provádějí. [6]

$$T_v = 0,5 \text{ h}, T_z = 1 \text{ h}, T_p = 2 \text{ h}, T_h = 0,05 \text{ h}$$

HZS pro jednotlivé činnosti jsou stanoveny na základě skutečných HZS jedné servisní společnosti následovně:

$$HZS_v = HZS_z = HZS_h = 800 \text{ [Kč]}$$

$$HZS_p = 1200 \text{ [Kč]}$$

Časovou náročnost i HZS jednotlivých činností je samozřejmě možno měnit dle údajů posuzovatele.

Stanovení nákladů na jednu odstávku dle výše určených hodnot:

$$N_v = T_v \times HZS_v = 0,5 \times 800 = 400 \text{ [Kč]}$$

$$N_z = T_z \times HZS_z = 1 \times 800 = 800 \text{ [Kč]}$$

$$N_p = T_p \times HZS_p = 2 \times 1200 = 2400 \text{ [Kč]}$$

$$N_h = T_h \times HZS_h = 0,05 \times 800 = 40 \text{ [Kč]}$$

$$N_c = N_v + N_z + N_p + N_h = 400 + 800 + 2400 + 40 = 3640 \text{ [Kč]}$$

Celkové náklady na jednu odstávku představují dle stanovených údajů 3640 Kč. V kapitole 6 Analýza dat je uvedeno, že ve zkoumané oblasti proběhlo za jeden rok přibližně 13 000 odstávek. Z uvedeného můžeme určit celkové náklady na provádění odstávek v dané oblasti za rok.

$$N_{o_{rok}} = N_c \times P_{o_{rok}} = 3640 \times 13000 = 47\,320\,000 \text{ [Kč]} \quad 7.6$$

$N_{o_{rok}}$ náklady na odstávky za rok [Kč]

N_c celkové náklady na jednu odstávku [Kč]

$P_{o_{rok}}$ počet odstávek za rok [ks]

8 Stanovení možné úspory pomocí vícekriteriální optimalizace

V předchozí kapitole byly vypočteny náklady na provádění odstávek za rok ve výši 47 000 000 Kč. V současné době je ve všech oblastech vyvíjen velký tlak na snižování nákladů. V této kapitole je z ekonomického hlediska proveden výpočet možné optimální úspory z celkové výše nákladů na odstávky za rok.

8.1 Sestavení modelu vícekriteriální optimalizace.

Cílem je nalézt řešení, které bude co nejlepší z hlediska více kritérií. Technicky se jedná o model vícekriteriálního lineárního programování. Teoreticky je model popsán v kapitole 2.2 vícekriteriální optimalizace.

Definice modelu:

Požadují nalézt řešení posuzované z hlediska kritériálních funkcí $z_1(x)$, $z_2(x)$, ..., $z_k(x)$, vyjádřených jako lineární účelové funkce více proměnných, viz kapitola 2.2.1.1 matematický model úlohy vícekriteriálního lineárního programování. [2]

$$z_1(x) = c_1^T x \rightarrow MAX$$

$$z_2(x) = c_2^T x \rightarrow MAX$$

.....

8.1

$$z_k(x) = c_k^T x \rightarrow MAX$$

$$A_x \leq b$$

$$x \geq 0$$

Pro zadání optimalizačního modelu vycházím z vypočítaných nákladů na odstávky za rok (47 miliónů). Pro další období jsou jako okrajové podmínky požadovány úspory minimálně 3 milióny Kč a nutné náklady na odstávky jsou stanoveny minimálně na 35 miliónů Kč. Výsledkem provedené optimalizace je pak nalezení optimálního rozložení prostředků mezi prostředky určené na provádění odstávek a mezi uspořené prostředky (snížení nákladů).

Pro provedení optimalizace byla určena tři kritéria:

- výnos
- rizikovost
- likvidita prostředků

Předpokládám výnos z investice do odstávek ve výši 6hal z 1Kč a výnos z uspořenéých prostředků 4hal z 1Kč.

Rizikovost investic do odstávek je v tomto příkladu ohodnocena dvěma body (jedná se o riziko, že nedosáhnou plánovaný výnos) a rizikovost zhodnocení úspory 1 bodem. Možné ocenění rizikovosti investic do odstávek je provedeno v podkapitole 8.2.

Likviditu prostředků do odstávek jsem ohodnotil jedním bodem, likviditu výnosu z úspory třemi body.

Uvedené předpoklady vždy vycházejí ze zjištění a návrhu konkrétního hodnotitele.

Požaduji zjistit rozložení prostředků, tak abych za daných podmínek maximalizoval výnos a zároveň minimalizoval rizikovost a maximalizoval likviditu prostředků.

X_1 prostředky vložené do odstávek (mil. Kč)

X_2 úspora (mil. Kč)

Vstupní podmínky:

$$x_1 + x_2 \leq 47 \text{ (mil. Kč)}$$

$$x_1 \geq 35 \text{ (mil. Kč)}$$

$$x_2 \geq 3 \text{ (mil. Kč)}$$

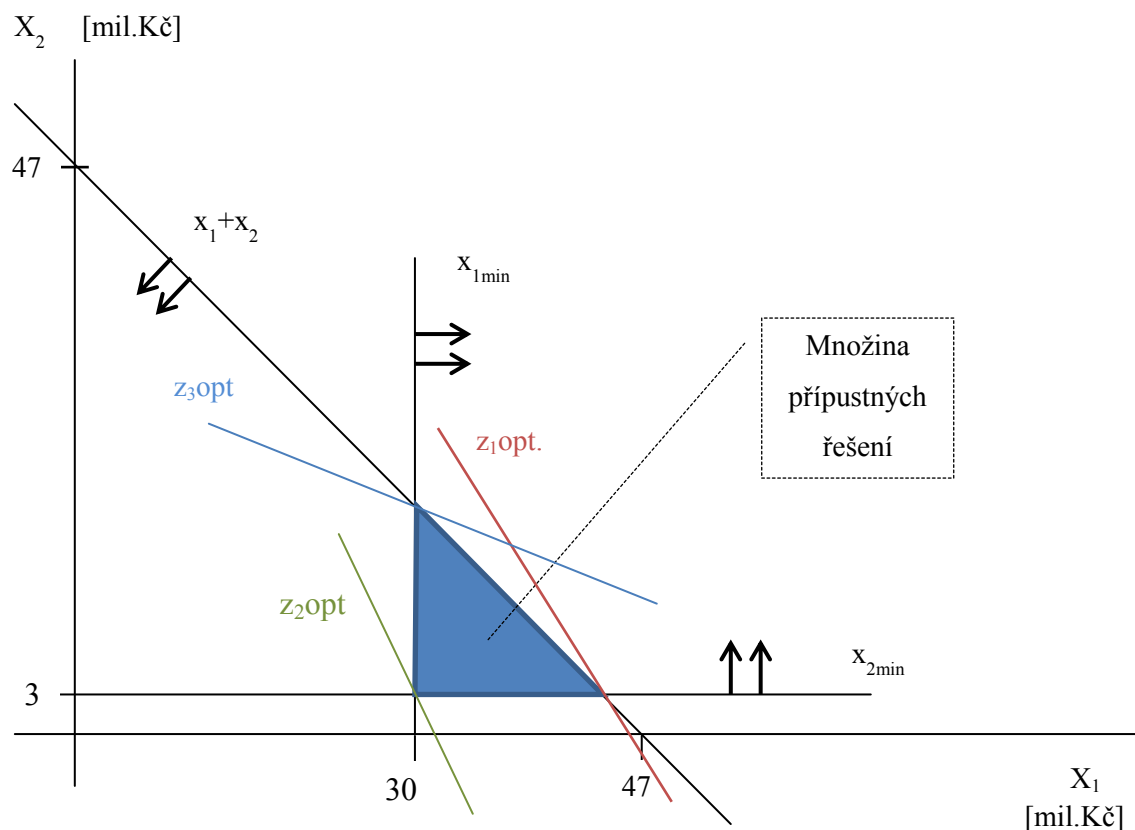
Vytvoření účelových funkcí:

$$\text{Výnos: } z_1 = 6x_1 + 4x_2 \rightarrow \text{MAX}[10tis.Kč]$$

$$\text{Rizikovost: } z_2 = 2x_1 + x_2 \rightarrow \text{MIN}[mil.bodů]$$

$$\text{Likvidita: } z_3 = x_1 + 3x_2 \rightarrow \text{MAX}[mil.bodů]$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$



Obr.8.1 grafické znázornění množiny přípustných řešení

8.1.1 Parciální optimalizace

Parciální optimalizace je sumarizace informací o nalezených řešeních, které zapíšeme do kritériální tabulky Tab.8.1, kde se zapisují všechny podstatné vlastnosti nalezených řešení. Z obr.8.1 odečteme hodnoty x_1 , x_2 a dopočteme hodnoty kritériálních funkcí.

	x_1	x_2	z_1	z_2	z_3
z_1^{opt}	44	3	276	91	53
z_2^{opt}	30	3	192	63	39
z_3^{opt}	30	17	248	77	81

Tab. 8.1 kritériální tabulka

Na základě hodnot v tabulce Tab.8.1. je formulována ideální (I) a bazální (B) varianta. Do ideální varianty vstupují nejlepší dosažené hodnoty parciální optimalizace podle jednotlivých kritériálních funkcí. Do bazální varianty pak vstupují hodnoty nejhorší. Výsledky ideálních a bazálních hodnot pro jednotlivé funkce jsou uvedeny v tabulce Tab.8.2.

Varianta	z_1	z_2	z_3
Ideální	276	63	81
Bazální	192	91	39

Tab. 8.2 tabulka ideálních a bazálních hodnot

8.1.2 Nalezení kompromisního řešení:

Pro nalezení kompromisního řešení byla použita metoda *převodu účelových funkcí na omezující podmínky*.

Účelová funkce z_1 je ponechána jako funkce, podle které se bude provádět finální optimalizace a pro omezující podmínky jsou použity funkce z_2, z_3 .

Omezující podmínky:

podle funkce z_2 : $2x_1 + x_2 \leq 84$

podle funkce z_3 : $x_1 + 3x_2 \geq 49,5$

Hodnota pravé strany nerovnic je určena jako 3/4 intervalu mezi ideální a bazální variantou pro kritériální funkce z_2, z_3 . Je možné zvolit i jiné hodnoty, podle toho zda se chceme více přiblížit k bazální či ideální variantě.

Ze vstupních a omezujících podmínek je možné určit optimální rozložení prostředků.

$$x_1 + x_2 \leq 47$$

$$2x_1 + x_2 \leq 84$$

$$x_1 = 37$$

$$x_2 = 10$$

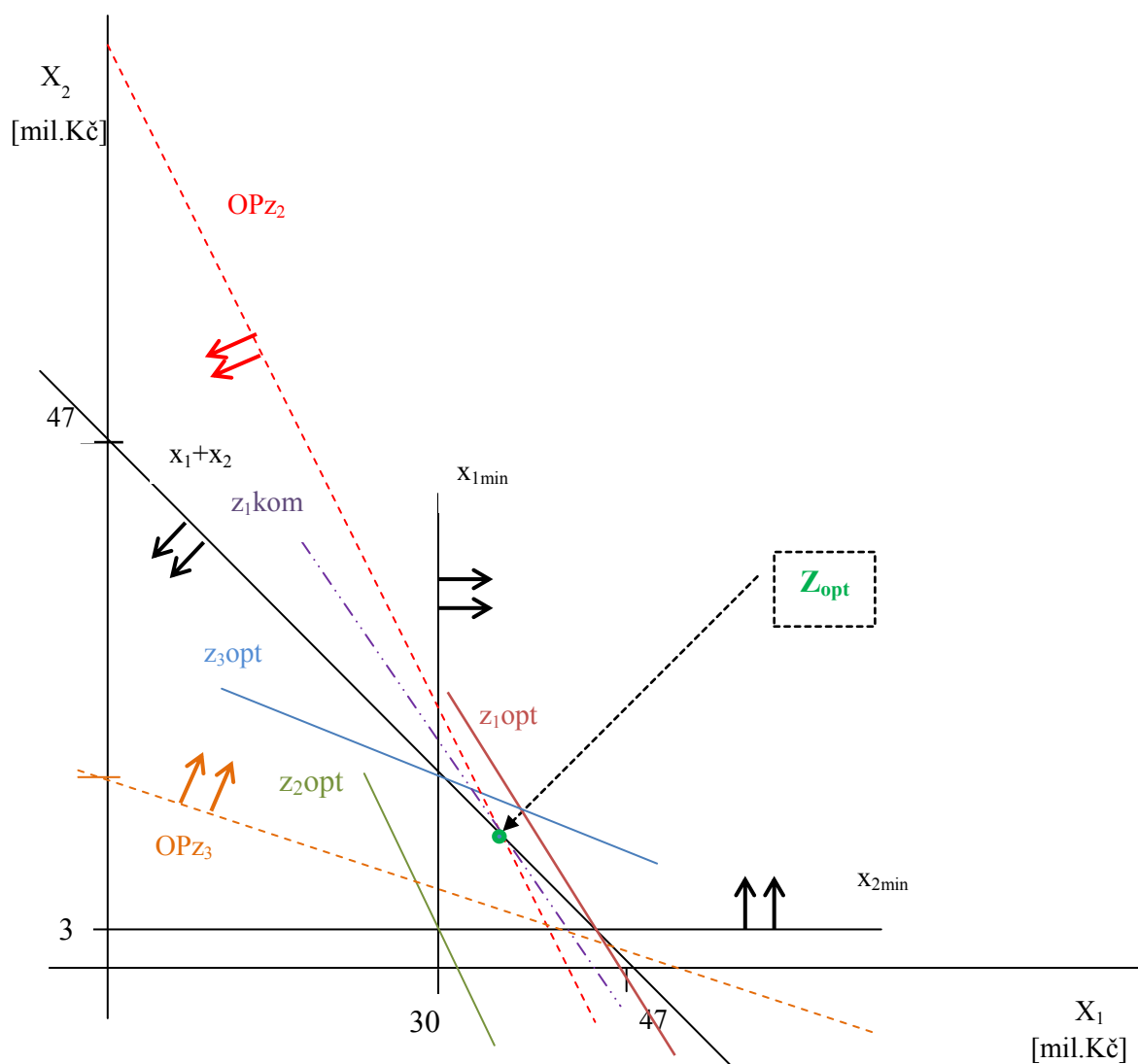
	x_1	x_2	z_1	z_2	z_3
z_1^{opt}	44	3	276	91	53
z_2^{opt}	30	3	192	63	39
z_3^{opt}	30	17	248	77	81
uf→OP	37	10	262	84	67

Tab. 8.3 kritériální tabulka s kompromisním řešením

Pro zvolené hodnoty kritérií a uvedené kompromisní řešení je optimální vložit do plánovaných odstávek 37 mil. Kč., což bude znamenat roční úsporu 10 mil. Kč.

Grafické odvození je uvedeno v obr 8.2. [3]

$$Z_{\text{opt}} = [37; 10]$$

Obr.8.2 grafické znázornění nalezení bodu Z_{opt}

- X_1 náklady na odstávky
 X_2 úspora
 z_1^{opt} funkce z_1 optimální
 z_2^{opt} funkce z_2 optimální
 z_3^{opt} funkce z_3 optimální
 z_1^{kom} funkce z_1 kompromisní
 OPz_2 omezující podmínka podle funkce z_2
 OPz_3 omezující podmínka podle funkce z_3
 Z_{opt} bod optimálního rozložení

8.2 Určení rizikovosti

Při provádění kritériální optimalizace je výsledek vždy závislý na určení vstupních podmínek a hodnot kritérií. Stanovení těchto hodnot provádí hodnotitel buď na základě vlastních zkušeností, nebo konkrétních zjištění z dalších analýz a výpočtů. V této podkapitole je jako příklad provedeno určení rizikovosti dosažení výnosu pro vícekritériální optimalizaci v podkapitole 8.1.

Určení rizikovosti je provedeno metodou vícekritériálního hodnocení variant, konkrétně metodou váženého součtu. [4] [5]

8.2.1 vytvoření výchozí kritériální matice Y

Pro vytvoření kritériální matice jsou určeny 4 varianty a_1, a_2, a_3, a_4 , které jsou hodnoceny podle 4 kritérií f_1, f_2, f_3, f_4 . Pro každou variantu je pak stanoven stupeň rizika.

f_1 -počet pracovních sil [ks]

f_2 -spolehlivostní ukazatel SAIDI [min/odběratel/rok]

f_3 -stupeň spolehlivosti provozu [bodová stupnice 1 - 10]

f_4 -náklady na odstávky [mil. Kč]

Kritéria f_1, f_2, f_4 jsou minimalizační, kritérium f_3 je maximalizační. Každé variantě je pak přiřazena míra rizika.

riziko	varianta	kritéria			
		f_1	f_2	f_3	f_4
$\begin{bmatrix} 6 \\ 5 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$	a_1	15	300	2	30
	a_2	26	280	3	40
	a_3	23	260	5	47
	a_4	30	252	9	65

Výchozí kritériální matici jsem upravil tak, aby všechna kritéria byla maximalizační. Pro minimalizační kritéria určíme nejhorší hodnoty: $f_1=15$, $f_2=252$, $f_4=30$.

Od těchto hodnot odečteme kritériální hodnoty dané varianty. Tímto převádíme ohodnocení variant podle minimalizačního kritéria na ohodnocení, o kolik jsou varianty lepší než nejhorší varianta, a tím na maximalizační kritéria.

Upravená kritériální matice Y má pak tvar:

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 15 & 0 & 2 & 35 \\ 4 & 20 & 3 & 25 \\ 7 & 38 & 5 & 18 \\ 0 & 50 & 9 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$H = (15 \quad 50 \quad 9 \quad 35)$$

$$D = (0 \quad 0 \quad 2 \quad 0)$$

H nejvyšší hodnota kritéria

D nejnižší hodnota kritéria

8.2.2 vytvoření normalizované kritériální matice R

Normalizovanou kritériální matici vytvoříme z upravené kritériální matice pomocí vzorce 8.2:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad 8.2$$

$$R = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1,00 & 0,00 & 0,00 & 1,00 \\ 0,27 & 0,40 & 0,14 & 0,71 \\ 0,47 & 0,76 & 0,43 & 0,51 \\ 0,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Prvky této normalizované kritériální matice vyjadřují hodnoty užítu dané varianty podle určitého kritéria. Hodnotitel následně přiřadí jednotlivým kritériím váhy v . Následně jsou pomocí vzorce 8.3 určeny celkové hodnoty užítu jednotlivých variant.

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j r_{ij} \quad 8.3$$

$u(a_i)$ vícekritériální funkce užítu

v váha kritéria

	f_1	f_2	f_3	f_4	$u(a_i)$
a_1	1,00	0,00	0,00	1,00	0,36
a_2	0,27	0,40	0,14	0,71	0,33
a_3	0,47	0,76	0,43	0,51	0,52
a_4	0,00	1,00	1,00	0,00	0,64
váhy kritérií	0,16	0,21	0,43	0,20	

Nejvyšší hodnoty užitku dosahuje v tomto případě varianta a_4 . Této variantě odpovídá dle výchozí kritériální matice riziko 1, které je následně použito ve vícekritériální optimalizaci.

9 SW program pro výpočet optimalizace

Při provádění vícekritériální optimalizace je vždy rozhodující stanovení kritérií a jejich ohodnocení. Jiný pohled na kritéria bude mít technik, jiný ekonom atd. Pro možnost provedení optimalizace různými hodnotiteli, byla v rámci této práce vytvořena, na základě algoritmů uvedených v kapitolách 7 a 8, počítačová aplikace, kde je možné všechny zadané údaje měnit dle pohledu hodnotitele. Do zpracovaného SW vstupují data zjištěná při provedení analýzy dat a je zde na výstupu také uveden počet odstávek, které je nutné omezit a to v členění dle jednotlivých kategorií.

Pro zpracování SW aplikace jsem oslovil externího programátora, kterému jsem předal veškeré informace o požadovaném algoritmu. Jednalo se zejména o způsob hledání optimálního rozložení a následně také o prototyp aplikace formou dokumentu .xls. Navrhnul jsem aplikaci rozdělenou do několika logických sekcí, které odpovídají členění kapitoly, popisující algoritmus v mé práci. Jednak obsahuje sekce pro zadání a výpočet vstupních dat (náklady, riziko odstávky a omezení odstávek). Výsledky z těchto sekcí pak vstupují do výpočtu hledání optimálního rozložení.

Programátorem byla, na základě předaných podkladů, vytvořena názorná aplikace v moderním jazyce HTML5 a JavaScript (jQuery). Jedná se o základní stavební kámen většiny dnešních internetových aplikací. Tato volba tak umožňuje spuštění aplikace na libovolném počítači s moderním (resp. aktualizovaným) internetovým prohlížečem, bez nutnosti instalace dalšího SW. Zdrojové kódy jsou přímo součástí aplikace. V případě potřeby je tak možné v budoucnu tuto aplikaci použít jako základ pro další výpočty, je možné ji jednoduše upravit.

Aplikace ve výchozím stavu (po spuštění) obsahuje předvyplněné hodnoty, které vycházejí z dat zpracovaných v této práci. Téměř všechny důležité parametry výpočtu lze změnit a sledovat jejich vliv na výsledek výpočtu.

9.1 Popis jednotlivých částí SW programu

Ovládání aplikace je intuitivní. Po spuštění se aplikace otevře na záložce Přehled. Úvodní okno je na obr 9.1. V tomto okně jsou uvedeny pouze počty odstávek za rok a náklady na realizaci odstávek před optimalizací a po jejím provedení. Uvedené hodnoty jsou závislé na vstupních datech a nastavení optimalizace v dalších záložkách.

<div> <div>Přehled</div> <div>Optimalizace</div> <div>Výpočet nákladů</div> <div>Omezení odstávek</div> <div>Riziko odstávek</div> <div>Uložit/Načíst</div> </div>		
Odstávky		
	před optimalizací	po optimalizaci
počet odstávek / rok	13000	10165
náklady na realizaci odstávek	47 320 000,00 Kč	37 000 600,00 Kč

Obr.9.1 záložka Přehled

Na obr.9.2 je okno zobrazené pod záložkou Optimalizace. V tomto okně se provádí nastavení samotného optimalizačního procesu. Zadávat se zde vstupní podmínky a koeficienty účelových funkcí uvedené v kapitole 8.1. Hodnota NO_{rok} je aplikací vypočtená hodnota na základě podkladů v záložce Výpočet nákladů. Všechny koeficienty účelových funkcí lze měnit, mimo rizikovosti odstávek. Tento koeficient se dopočítává dle kritérií v záložce Riziko odstávek. V šedém rámečku je uvedeno optimální rozložení finančních prostředků po provedené optimalizaci.

Přehled Optimalizace Výpočet nákladů Omezení odstávek Riziko odstávek Uložit/Načíst

Optimalizace

NO_{rok} (náklady na odstávky za rok) 47 320 000,00 Kč

Požadavek na následující období

Minimální náklady na odstávky mil Kč.

Minimální požadovaná úspora mil Kč.

kritérium	odstávky	úspora
výnos (%)	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="4"/>
rizikovost (b)	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="1"/>
likvidita (b)	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>

Optimální rozložení

Náklady na odstávky	37 000 600,00 Kč
Úspora	10 319 400,00 Kč

Obr.9.2 záložka Optimalizace

Okno pro záložku výpočet nákladů je zobrazeno na obrázku 9.3. V tomto okně je proveden výpočet nákladů dle kapitoly 7. Je možné zadat hodnoty pro potřebné časy a hodinové zúčtovací sazby jednotlivých činností. Počet odstávek za rok je možné buď zadat, nebo převzít ze vstupních dat.

Přehled Optimalizace **Výpočet nákladů** Omezení odstávek Riziko odstávek Uložit/Načíst

Výpočet nákladů

Nákladová položka	T - potřebný čas (h)	HZS - hodinová zúčtovací sazba (Kč)	T * HZS - náklady (Kč)
Nv (vytvoření požadavku)	0.5	800	400,00 Kč
Nz (zpracování požadavku)	1	800	800,00 Kč
Np (provedení odstávky v reálném čase)	2	1200	2 400,00 Kč
Nh (vyhodnocení odstávky)	0.05	800	40,00 Kč
Nc = Nv+Nz+Np+Nh (náklady na jednu odstávku)			3 640,00 Kč
Po_{rok} (počet odstávek za rok)			13000
No_{rok} (náklady na odstávky za rok)			47 320 000,00 Kč

Obr.9.3 záložka Výpočet nákladů

Po otevření záložky Omezení odstávek máme možnost volby mezi zobrazením vstupních, nebo výsledných dat. Vstupní data pak mají dále možnost volby mezi záložkami Zobrazit hodnoty a Upravit hodnoty. V záložce Zobrazit hodnoty jsou uvedena převzatá data z provedené analýzy dat. V záložce Upravit hodnoty (obr. 9.4) pak je možné hodnoty počtu odstávek dle jednotlivých příčin upravit.

Přehled Optimalizace Výpočet nákladů **Omezení odstávek** Riziko odstávek Uložit/Načíst

Omezení odstávek

Výsledná data				
Vstupní data				
<div>Zobrazit hodnoty Upravit hodnoty</div>				
Důvod uvolnění zařízení	VVN	VN	NN	Celkem
Řád preventivní údržby	5897	20934	244	27075 (50%)
Rekonstrukce	1094	3213	2054	6361 (12%)
Plánovaná oprava	606	2633	1025	4264 (8%)
Přeložka vedení (DTS)	55	620	297	972 (2%)
Připojení nového zařízení	119	1713	612	2444 (5%)
Práce v ochranném pásmu	238	527	100	865 (2%)
Práce v ochranném pásmu bez přerušení dodávky	52	317	1	370 (1%)
Vypnutí zařízení zákazníka na jeho žádost	478	2678	155	3311 (6%)

Obr.9.4 záložka Omezení odstávek – Vstupní data

Záložka Výsledná data (obr.9.5) pak zobrazuje hodnoty požadovaného snížení počtu odstávek dle jednotlivých kategorií po provedené optimalizaci.

Přehled	Optimalizace	Výpočet nákladů	Omezení odstávek	Riziko odstávek	Uložit/Načíst
---------	--------------	-----------------	------------------	-----------------	---------------

Omezení odstávek

Výsledná data			
U_{po} Požadovaná úspora	10 319 400,00 Kč		
N_c (celkové náklady na jednu odstávku)	3 640,00 Kč		
S_o = U_{po}/N_c (nutné snížení odstávek)	2835 ks		
Důvod uvolnění zařízení	VVN	VN	NN
Řád preventivní údržby	308	1095	12
Rekonstrukce	57	168	107
Plánovaná oprava	31	137	53
Přeložka vedení (DTS)	2	32	15
Připojení nového zařízení	6	89	32
Práce v ochranném pásmu	12	27	5
Vypnutí zařízení zákazníka na jeho žádost	25	140	8
Odstranění závad z kontrol dle ŘPÚ	20	41	2
Předcházení poruch	10	35	3
Oprava po poruše	9	35	1
Manipulace na tmu	0	44	1
Ostatní	53	202	16
CELKEM	533	2045	255

Obr.9.5 záložka Omezení odstávek – Výsledná data

Na obr. 9.6 je zobrazena záložka Riziko odstávek. V této záložce je proveden výpočet koeficientu rizikovitosti odstávek. Výsledná hodnota je pak přenesena a zobrazena v záložce Optimalizace.

Přehled	Optimalizace	Výpočet nákladů	Omezení odstávek	Riziko odstávek	Uložit/Načíst
---------	--------------	-----------------	------------------	-----------------	---------------

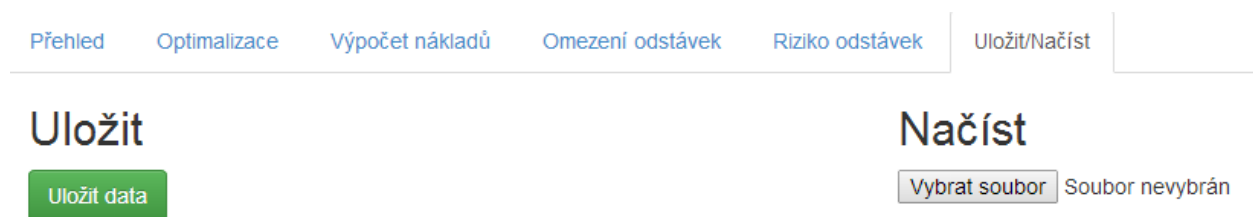
Stanovení rizika odstávek

Riziko	Varianta	Počet prac. sil (ks)	spolehlivostní ukazatel SAIDI (min/odběratel/rok)	stupeň spolehlivosti provozu (1 až 10 bodů)	náklady na odstávku (mil. Kč)	výsledek
váha kritéria:		0.16	0.21	0.43	0.2	
6	a1	15	300 0.000	2 0.222	30 1.000	0.296
5	a2	26	280 0.400	3 0.333	40 0.714	0.370
2	a3	23	262 0.760	5 0.556	47 0.514	0.501
1	a4	30	250 1.000	9 1.000	65 0.000	0.640

Obr.9.6 záložka Riziko odstávek

Výpočet je zde proveden podle algoritmu, který je uveden v kapitole 8.2. V této záložce je možné změnit hodnoty kritérií jednotlivých variant a také nastavit váhy jednotlivých kritérií. Riziko přiřazené vítězné variantě pak vstupuje do optimalizačního modelu jako koeficient pro rizikovost odstávek.

Poslední záložkou je pak záložka Uložit/Načíst (obr.9.7). Tato záložka nabízí možnost uložení dat provedené optimalizace do libovolného adresáře nebo načtení uložených dat z adresáře do aplikace.



Obr.9.7 záložka Uložit/Načíst

10 Možnosti omezení počtu odstávek

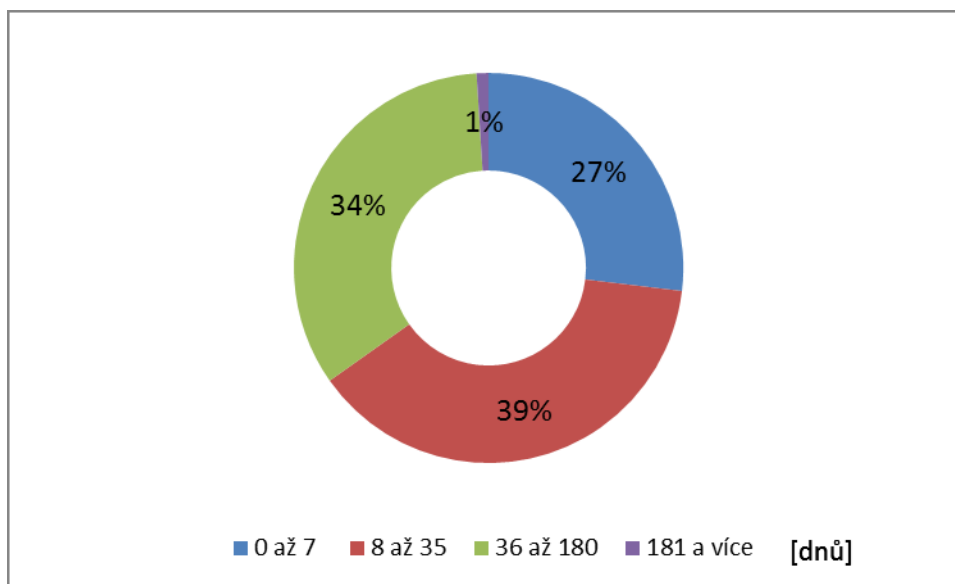
Při posuzování možností pro omezení počtu odstávek a také jejich vlivu na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny je nutné znát rozložení odstávek dle jednotlivých příčin a napěťových hladin. Při znalosti uvedeného rozdělení pak můžeme rozhodnout, kde hledat možnosti omezení počtu odstávek. Pro posuzování je v této práci použita analýza dat o odstávkách uvedená v kapitole 6. Možnosti omezení počtu odstávek lze hledat zejména v oblastech:

- Koordinace odstávek na stejném zařízení
- Optimalizace údržbových prací dle ŘPÚ
- Použití metod prací pro snížení hodnot ukazatelů nepřetržitosti distribuce

10.1 Koordinace odstávek na stejném zařízení

Jednou z možností omezení počtu odstávek je sloučení požadavků pro různé práce na stejném zařízení v určitém časovém období. Pro tuto práci je použito období jednoho roku. Aby bylo možné požadavky slučovat do jedné odstávky, je nutné mít informaci o plánovaných pracích v dostatečném časovém předstihu. K tomu slouží zařazování požadavků do jednotlivých etap přípravy provozu dle platné legislativy.

Pro zjištění stavu zařazování požadavků na odstávky byla na základě vzorku analyzovaných dat sestavena časová osa procentního rozdělení doby mezi zadáním požadavku a požadovaným začátkem odstávky. Zjištěné výsledky jsou zobrazeny v grafu 10.1.



Graf 10.1. Procentní rozdělení zadání požadavků na odstávku v čase.

Z grafu je zřejmé, že 27% odstávek je nárokováno maximálně 7 dnů před odstávkou. Tyto odstávky prošly pouze etapou denní přípravy provozu. 39% odstávek je nárokováno v intervalu 8 až 35 dnů před odstávkou, prošly týdenní přípravou provozu, 34% odstávek bylo nárokováno v rámci etapy měsíční přípravy provozu (interval 36 až 180 dnů) a pouze 1% odstávek bylo řádně nárokováno v rámci etapy roční přípravy provozu (181 a více dnů). Pokud chceme zamezit několikanásobnému vypínání stejných zařízení v průběhu roku, z důvodu požadavku provedení různých druhů prací, je nutné docílit zařazení maximálního počtu požadavků na odstávky již v etapě roční přípravy provozu. Jedině tak je možné požadavky na odstávky účinně slučovat a omezit tak celkový počet odstávek.

Pro provozovatele distribučních soustav je obtížné nárokovat s požadovaným předstihem všechny práce již v etapě roční přípravy. V kapitole 6 analýza dat je v grafu 6.16 uvedeno, že 49% všech odstávek je požadováno pro provedení údržby dle ŘPÚ. Plán ŘPÚ musí mít provozovatelé distribučních soustav dlouhodobě zpracován. Musí tedy být také možné minimálně tyto odstávky nárokovat již v roční přípravě provozu. Z tabulky 6.1 lze vyhodnotit průměrný počet odstávek za rok na 13 000ks, pak 49% pro provedení ŘPÚ je 6370 odstávek za rok. Z analýzy pracovních postupů a lhůt pro provádění jednotlivých činností dle ŘPÚ (tabulka 10.1) vyplývá, že průměrná délka pro provedení údržby dle ŘPÚ je 48 měsíců. Za těchto předpokladů je teoreticky každý rok uvolněna z provozu čtvrtina zařízení pro provedení údržby dle ŘPÚ. Tato skutečnost dává velký prostor sloučit část odstávek nárokových z jiné příčiny s odstávkami pro ŘPÚ. K tomu je nutné nárokovat odstávky již v rámci ročního programu vypínání.

10.2 Optimalizace údržbových prací dle ŘPÚ

Řád preventivní údržby je předpis provozovatele elektrických zařízení pro provádění pravidelných kontrol, prohlídek, diagnostiky, údržby a revizí, kterými se zajišťuje spolehlivý technický stav a bezpečnost těchto zařízení., obsahuje lhůty a způsob provádění kontrol a údržby.

Nedílnou součástí Řádu preventivní údržby jsou pracovní postupy. Řád preventivní údržby se vztahuje na všechna zařízení distribuční soustavy v pracovních postupech ŘPÚ uvedená a na zařízení s nimi související. Pracovní postupy jsou pak rozpracovány do jednotlivých pracovních činností, které dále upřesňují konkrétní úkony prováděné v rámci pracovního postupu.

Na konkrétním zařízení se ve většině případů provádí i více druhů pravidelných kontrol a údržby v různých cyklických intervalech.

Počty pracovních postupů a pracovních činností pro jednotlivé skupiny zařízení platné v současné době na území zkoumaném v rámci této práce jsou uvedeny v tabulce 10.1.

Zařízení	Pracovní postupy (počet)	Pracovní činnosti (počet)	Lhůty (měsíc)
Centrální systém	7	34	6 - 48
Distribuční stanice	13	169	48 - 96
Elektrické stanice	115	938	1 - 120
Kabelové vedení vn	2	13	24
Vedení nn	6	34	24 - 48
Venkovní vedení vn	6	75	48 - 96
Venkovní vedení vvn	4	26	12 - 96
Celkem	153	1289	1 - 120

Tab. 10.1 přehled postupů a činností dle ŘPÚ

Možností ke snížení celkového počtu odstávek je v tomto případě sjednocení lhůt jednotlivých pracovních činností pro jednotlivá zařízení tak aby bylo možné snížit počet vyjmutí zařízení z provozu pro provedení ŘPÚ na jednom zařízení. Tohoto cíle je možné dosáhnout zavedením přechodného období, ve kterém je povoleno jednorázově překročit maximální lhůtu u vybraných pracovních postupů. Důvodem pro toto přechodné období je sladit lhůty jednotlivých pracovních postupů u prvků distribučního zařízení, které mají logickou technologickou návaznost.

Další z možností jak snížit počet odstávek vynucených prováděním prací dle ŘPÚ, je také zavedení spolehlivostně orientované údržby (RCM). Cílem spolehlivostně orientované údržby je vytvořit takovou strategii údržby, aby se minimalizovaly celkové provozní náklady při zachování nezbytné míry spolehlivosti, bezpečnosti a ohleduplnosti k životnímu prostředí provozovaných zařízení. Prakticky to znamená, že se pro každé zařízení sestaví rovnice celkových provozních nákladů a hledá se její lokální minimum. [7]

Při provádění běžné údržby dle ŘPÚ na zařízení mimo provoz je vhodné současně odstranit závady zjištěné při úkonech prohlídky, diagnostických měření i samotné údržby. Dle analýzy dat v kapitole 6, je možné tímto opatřením snížit počet odstávek na hladině VVN o 4% a na hladině VN o 2%. Na hladině VN jde o přibližně 200 odstávek a na hladině VVN 100 odstávek za rok.

10.3 Použití metod prací pro snížení ukazatelů SAIDI,SAIFI,CAIDI (PPN, MZS, NPT)

Důležitou součástí procesu optimalizace plánovaných odstávek v distribučních sítích je důraz na snižování hodnot ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny. V současné době je povinnosti všech distributorů tyto ukazatele sledovat a předepsaným způsobem vykazovat Energetickému regulačnímu úřadu. V následujících letech již bude ERU stanovovat limity těchto ukazatelů. Nedodržení těchto limitů pak bude znamenat pro distribuční společnost udělení významných finančních sankcí. I z těchto důvodů je nutné hledat možnosti, jak hodnoty těchto ukazatelů co nejvíce omezit.

V kapitole 6 analýza dat je uveden podíl jednotlivých typů přerušení na ukazatele nepřetržitosti distribuce. Je zde uvedeno, že podíl plánovaných prací na ukazateli SAIDI je 49% , na ukazateli SAIFI 18% a u ukazatele CAIDI jde o hodnotu 273 min/přerušení, což je více než 4x více než u poruchových výpadků. Pokud chceme snížit hodnoty ukazatelů, musíme se, kromě poruchových výpadků, intenzivně zabývat také možnými způsoby snížení dopadu plánovaných prací na tyto ukazatele.

10.3.1 Možné způsoby omezení vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny

- PPN – provádění prací pod napětím dle stanovených pracovních postupů
- MZS – využití náhradních zdrojů energie (mobilní zdrojové soustrojí)
- NPT – budování náhradních provozních tras na dobu odstávky zařízení

10.3.1.1 PPN – provádění prací pod napětím dle stanovených pracovních postupů

Práce pod napětím jsou prováděny pracovníky, jejichž odborná kvalifikace je na velmi vysoké úrovni. U distribuční společnosti působící v regionu, z kterého vycházejí data této práce, je na úrovni hladiny VN zpracováno 23 pracovních postupů PPN a na úrovni hladiny NN 31 pracovních postupů. Na napěťové hladině VVN nelze metody práce PPN použít.

10.3.1.2 MZS – využití náhradních zdrojů energie (mobilní zdrojové soustrojí)

V případě využití nasazení MZS při odstávkách je dosaženo snížení dopadu odstávky na ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny nasazením náhradních zdrojů elektrické energie buď pro celé distribuční stanice nebo pro konkrétní odběratele v síti.

10.3.1.3 NPT – budování náhradních provozních tras na dobu odstávky zařízení

Možnosti budování náhradních provozních tras se využívá zejména při dlouhodobých odstávkách zařízení. Vybudování NPT je požadováno zejména z důvodu nedodržení spolehlivostního kritéria $n-1$ po dobu odstávky, kdy možný poruchový výpadek dalšího zařízení by mohl způsobit dlouhodobé omezení dodávky elektřiny odběratelům. [11]

10.3.2 Hodnocení efektivity provádění prací PPN, nasazování MZS a NPT

Pro hodnocení jednotlivých metod prací je zde stanoveno 10 následujících kritérií:

- skladba a výše nákladů na jednotlivé metody
- vliv na příjmy z poskytování distribuce elektrické energie
- organizační náročnost
- vliv na image firmy
- vliv na spolehlivostní ukazatele nepřetržitosti distribuce
- ovlivnitelnost sezónností
- ovlivnitelnost vnějšími vlivy
- vliv na spolehlivost dodávky elektřiny během realizace prací
- vliv na kritérium n-1 v DS
- vliv na případné postihy dle vyhlášky 540/2005

Srovnání jednotlivých metod prací dle stanovených kritérií bylo provedeno v odborné skupině pracovníků z praxe. Výsledky tohoto srovnávání jsou zapsány v tabulce 10.2. [6]

Na základě tohoto srovnání je efektivita jednotlivých metod prací vyhodnocena provedením kritériální analýzy, kde je jednotlivým hodnoceným kritériím přiřazena % váha (součet vah všech kritérií = 100%) a pro jednotlivé používané metody práce byly každému kritériu přiřazeny hodnoty vlivu na kritérium [0= neutrální vliv, 0 až –10 negativní vliv na kritérium (-10 nejhorší), 0 až 10 pozitivní vliv na kritérium (10 nejlepší vliv)].

Výsledky takto provedeného kritériálního vyhodnocení jsou v tabulce 10.3. Klasické provádění prací KO je ohodnoceno výsledným hodnocením -2,75 bodů negativní vliv, provádění prací metodou PPN 2,3 pozitivní vliv, používání MZS 1,15 pozitivní vliv a stavba by-passů 0,15 pozitivní vliv.

	Klasická odstávka	PPN	MZS	NPT
Obecné vyčíslení nákladů	Obecně nejmenší	Velké	Velmi vysoké, závisí na výkonu a době nasazení MZS	Největší, závisí na složitosti realizace u VVN cca 1 000 000 Kč/km
Vliv na příjmy z poskytování distribuce	Nedodaná energie vždy	Nedochází k přerušení dodávky EE	Nedochází k přerušení dodávky (minimální nedodávka při přechodu na NZ)	Nedochází k přerušení dodávky, kromě času pro připojení NPT
Organizační náročnost	Náročná, součinnost všech složek, komplikovanější manipulace pro vypnutí	Méně organizačně náročné, nemanipuluje se, nevypíná, nutno ale zřídit ZRP, odstavení zdrojů v oblasti	Méně náročné Zajištění přepravy NZ a obsluhy	Velmi náročné Projekt, zajištění umístění, technologicky náročné
Vliv na image firmy	Negativně ovlivňuje image	Zákazník nepozná, že se v DS pracuje, v případě vhodné prezentace pozitivně ovlivňuje image	Odběrateli kladně hodnoceno,	Bez vlivu, může být negativně hodnocen dočasný zábor pozemků
Vliv na spolehlivostní ukazatele nepřetržitosti distribuce	Zvyšuje četnost přerušení	Minimalizuje četnost přerušení	Snižuje četnost, vliv na ukazatele SAIDI, SAIFI vzhledem k relativně malému počtu MZS minimální.	Snižuje četnost
Ovlivnění sezónností	Omezení vypínání v zimním období	Ne	Ne	V zimě omezenější možnosti výstavby,
Ovlivnění vnějšími vlivy	Extrémy počasí- bouřka Počasí – obtížnost dostat se na místo práce Předepsaná teplota pro montáž některých technologií a prvků.	Vliv počasí, problémy s dojezdem potřebné techniky na místo práce, ne vždy lze práce provádět metodou PPN	V některých případech není technicky možné MZS nasadit	Stav terénu, technologické předpisy, ohlášení stavby nebo stavební povolení
Vliv na spolehlivost dodávky elektřiny během realizace prací	Snižuje spolehlivost dodávky	Mírně snižuje spolehlivost dodávky	Bez vlivu	Zvyšuje spolehlivost dodávky
Vliv na kritérium n-1 v DS	Ano negativně	Mírně negativně	Ne	Ano pozitivně
Vliv na případné postihy dle vyhl. 540/2005	Mohou nastat postihy. Hrozí nedodržení standartu délky přerušení	Pozitivní vliv. Nevypíná se, takže nehrozí sankce.	Bez vlivu	Bez vlivu

Tabulka 10.2 srovnání jednotlivých metod

	KO	PPN	MZS	NPT
Obecné vyčíslení nákladů Váha kritéria 20%	5	-5	-7	-9
Vliv na příjmy z poskytování distribuce Váha kritéria 20%	-9	9	8	8
Organizační náročnost Váha kritéria 5%	-4	-3	-3	-7
Vliv na image firmy Váha kritéria 5%	-6	4	8	-1
Vliv na spoleh. ukazatele nepřetržitosti distribuce Váha kritéria 20%	-3	3	2	2
Ovlivnění sezónností Váha kritéria 5%	-2	2	3	-1
Ovlivnění vnějšími vlivy Váha kritéria 5%	-1	-5	-1	-4
Vliv na spolehlivost dodávky elektřiny Váha kritéria 5%	-3	-1	1	5
Vliv na kritérium n-1 v DS Váha kritéria 5%	-5	3	1	5
Vliv na případné postihy dle vyhl. 540/2005 Váha kritéria 10%	-3	9	1	1
Výsledek hodnocení	-2,75	2,3	1,15	0,15

Tabulka 10.3 kritériální hodnocení výhodnosti druhů prací

10.3.3 Stanovení zásad pro využívání PPN, nasazování MZS a NPT.

Při rozhodování o použití PPN, či nasazení MZS z ekonomického pohledu hraje zásadní roli ocenění energie nedodané odběratelům v případě využití klasické metody práce s plánovaným přerušením dodávky. Vzhledem k tomu, že v rámci české elektroenergetiky dosud neexistují jednotné zásady pro ocenění nedodané energie je posouzení ekonomických kritérií při použití PPN, či MZS vždy diskutabilní záležitostí.

Problematika vyčíslení nákladů na nedodanou energii je vysoce náročná a ocenění provedená různými postupy a různými autory se značně odlišují. V praxi používaná metoda některých zahraničních distribučních společností uvádí pro ocenění nedodané energie cenu odpovídající až 20-ti násobku regulované ceny za použití sítí pro distribuci elektrické energie. Při postupech vedoucích k těmto

výsledkům byly různými metodami zohledněny i dopady nedodávky na výrobní procesy odběratelů, ztráty odběratelů v důsledku nedodávky apod. Podstatné však je, že se tyto studie ocenění nedodané energie týkají zejména nedodávky v důsledku poruchových událostí a uplatňují se tedy zásadním způsobem vlivy, které v případě plánované a řádně ohlášené odstávky nemají vliv. Navíc tyto studie hodnotí dopady z pohledu odběratele, popř. ekonomiky jako celku, nikoliv z pohledu distributora.

Budeme-li hodnotit náklady na nedodanou energii pouze z pohledu distributora, skládají se tyto náklady pouze z ušlého příjmu za použití sítí DS, který činí pro střední spotřebu a pro aktuální období na hladině NN 2022Kč/MWh, na hladině VN 56Kč/MWh. Tyto náklady jsou jednoznačně dány cenovým rozhodnutím ERÚ a lze je považovat za korektní vyčíslení nákladů na nedodanou energii z pohledu distributora.

10.3.3.1 Využití prací metodou PPN

Při znalosti nákladů pro všechny pracovní postupy PPN je možno pro každý druh práce provést srovnání nákladů při provedení této práce klasickou metodou s odstávkou a metodou PPN. Vzhledem k tomu, že v praxi se v naprosté většině případů promítá vliv odstávky na hladině VN i na odběratele z hladiny NN, je při stanovení kritéria pro rozhodnutí o ekonomické výhodnosti použití PPN nadále uvažováno s cenou za použití sítí na hladině NN, tedy 2020Kč/MWh. S přihlédnutím k zvýšení dostupnosti sítí pro odběratele kategorie B, jimž nedodávka obvykle způsobuje větší komplikace než standardním odběratelům a kteří obvykle odebírají větší množství elektrické energie, je pro tyto odběratele zaveden v ekonomickém hodnocení korekční koeficient K. Koeficient K je v této práci stanoven na 2,00 a je možné ho použít v případě, že se v části DS, která je dotčena odstávkou nachází alespoň jeden odběratel kategorie B.

Stanovení kritéria:

Vstupní předpoklady:

Součet P_{inst} DTS které by byly v důsledku odstávky bez napětí : ΣP_{inst} (MW)

Požadovaná délka odstávky (doba omezení celkem při použití klasického postupu s odstávkou (práce, včetně manipulací a zajištění pracoviště) : H (h)

Průměrné využití P_{inst} DTS vn: 25 %

Koeficient K: 2,00

Finanční rozdíl mezi klasickým postupem a PPN : $\Delta K\check{c}$ (Kč)

Cena za nedodanou energii: 2020 Kč/MWh

Z těchto dat lze stanovit:

Kritérium ekonomické výhodnosti PPN :

$$\Delta K\check{c} / (H * 0,25 * 2020) \leq \Sigma P_{inst}$$

Kritérium ekonomické výhodnosti PPN v případě, že se v dotčené oblasti nachází odběratelé B :

$$\Delta K_{\text{č}} / (H \cdot 0,25 \cdot 2020 \cdot 2,00) \leq \Sigma P_{\text{inst}}$$

Vzhledem k tomu, že v praxi by bylo neúměrně pracné a mnohdy spekulativní určovat skutečnou nedodávku pro danou investiční akci a tím i skutečný průběh zatížení DTS je nutno kritérium ekonomické výhodnosti PPN převést na odhad nedodávky z instalovaného výkonu DTS a průměrného využití P_{inst} 25%. Je nutno mít na zřeteli, že navržené kritérium vychází pouze ze vztahu k distribuční společnosti a nezohledňuje ekonomický dopad z pohledu výroby a prodeje elektřiny.

10.3.3.2 Využití MZS

Vzhledem k vysokým nákladům na nasazování MZS nelze použít ekonomické kritérium. Po ekonomické stránce je nasazení MZS vždy ztrátové.

Při použití technických kritérií jsou důvody pro možné nasazení MZS následující:

- Důležitost odběratelů – nasazovat u zvláště důležitých odběrů. V praxi však naráží na problém, že není vydefinováno, podle jakých měřítek posuzovat důležitost odběratelů a také na povinnost nediskriminačního chování distributora k odběratelům.
- Požadovaná délka odstávky překračuje maximální povolovanou dobu vypnutí odběratele definovanou v platné legislativě.
- Byla by překročena povolovaná četnost vypínání dle platné legislativy.
- Je nepříznivý vývoj ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektřiny u konkrétního distributora.
- Není možno splnit legislativní požadavek pro ohlášení odstávky 15 dnů předem.
- Na základě individuálního posouzení u konkrétní odstávky.

10.3.3.3 Využití NPT

Náklady na 1km NPT jsou přibližně 1milion Kč, cena je závislá na profilu terénu, druhu použitých konstrukcí, případně na nutnosti hradit pronájmy za použití pozemků. Pro vysokou ekonomickou náročnost je praktické využití pouze na hladině VVN. Nelze stanovit obecné kritérium. Důvodem pro použití je zajištění spolehlivosti dodávky a chodu DS při dlouhodobých odstávkách. Náklady na stavbu NPT je nutno zahrnout do uvažovaných nákladů na stavbu již při přípravě zadávacího návrhu.

10.3.4 Zhodnocení

Na základě provedených analýz lze konstatovat, že provádění prací PPN má svůj význam a jeho využití je v mnoha případech velmi efektivní. Nasazování MZS má své opodstatnění v případech, kdy nelze použít PPN a odstávka zařízení s sebou nese neúměrné komplikace. Navíc může používání PPN významně zvýšit dostupnost sítí a tím snížit vliv odstávek na kritéria nepřetržitosti dodávky elektřiny. Vhodné je sestavení seznamu úseků a částí DS pro které by se přednostně požadovalo použití metody PPN, či seznamu odběratelů, kterým by byla poskytována služba nasazení MZS. Využití NPT je pro svoji velmi vysokou ekonomickou náročnost vhodné pouze v sítích VVN.

11 Využití dostupných IT systémů pro optimalizaci odstávek

V současné době se již žádná distribuční společnost neobejde bez vyspělých informačních systémů. Podpory těchto systému je nezbytné využívat také při provádění optimalizace plánovaných odstávek.

11.1 Informační systémy využitelné při provádění optimalizace plánovaných odstávek.

- TIS - technický informační systém
- GIS - geografický informační systém
- DŘS - dispečerský řídicí systém
 - SCADA
 - PAS
- FIS - finanční informační systém

11.1.1 TIS – technický informační systém

Technický informační systém obsahuje databázi veškerého technického zařízení distributora. Je zde možné vyhledat i příslušnost zařízení k větším celkům (stanice, úseky vedení). V TIS jsou zavedeny také lhůty a pracovní postupy ŘPÚ. Na základě těchto lhůt jsou pak vystavovány žádosti na odstávky zařízení pro provedení ŘPÚ. Je zde také veškerá evidence nárokových i již proběhlých odstávek. Jsou zde uloženy veškeré záměry připravovaných akcí investičního charakteru.

11.1.2 GIS - geografický informační systém

Poskytuje geografické znázornění sítě na základě mapových podkladů daného území. Pro přípravu a optimalizaci odstávek je zde nejvíce důležité znázornění připojení konkrétních zákazníků k síti.

11.1.3 DŘS - dispečerský řídicí systém

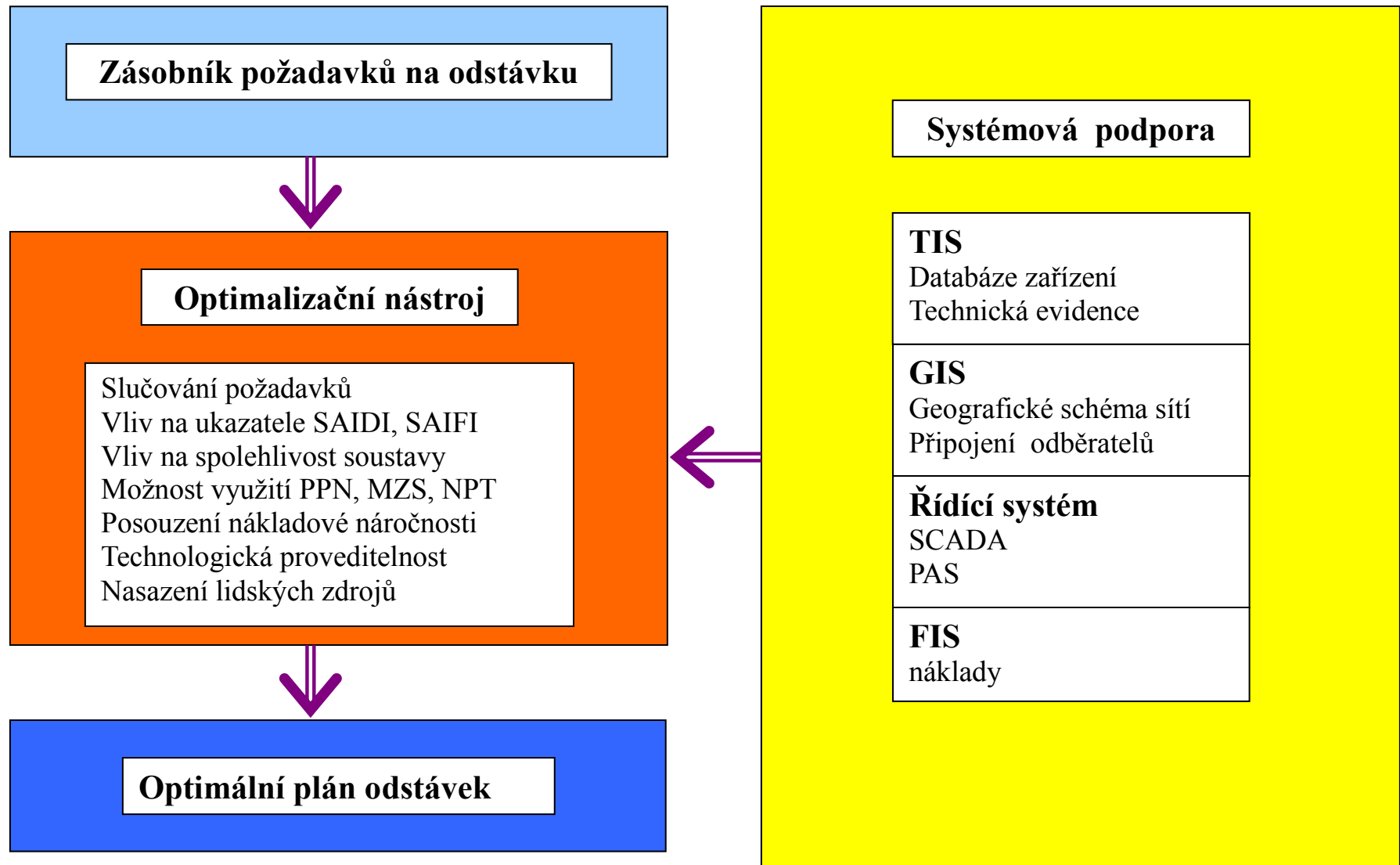
Pro přípravu a optimalizaci plánovaných odstávek je nutné využít dva moduly DŘS.

Modul SCADA slouží pro zobrazení topologie sítě, zobrazení základního provozního zapojení i aktuálního provozního zapojení. V tomto modulu jsou prováděny simulace zapojení soustavy v době odstávky.

Modul PAS slouží pro provedení výpočtů chodu soustavy v době odstávek části sítě z důvodu plánovaných prací a k ověření dodržení kritéria n-1 po dobu odstávky.

11.1.4 FIS - finanční informační systém

Poskytuje údaje o finančních nákladech na materiál, dopravu, lidské zdroje. Jsou zde oceněny konkrétní pracovní postupy. Tyto údaje jsou nutné pro možné provedení optimalizace odstávek.



Obr. 11.1. schéma optimalizačního procesu

11.2 Návrh optimalizačního procesu

Schéma navrhovaného procesu je znázorněno na Obr.11.1.V „Optimalizačním nástroji“ jsou definované požadavky na odstávky podrobeny analýze s přispěním potřebných údajů, které poskytuje systémová podpora. Výstupem pak je optimální plán odstávek připravený pro využití při operativním řízení provozu.

11.2.1 Vstupy:

seznam požadavků na odstávky zařízení

ŘPÚ – optimalizované požadavky (sloučení pracovních postupů a činností, RCM)

Plánované opravy – opravy závad, které nebyly odstraněny při operativním odstraňováním poruchových výpadků

Investiční výstavba – rekonstrukce, nové zařízení, vyvolané investice

11.2.2 Optimalizační nástroj:

Slučování požadavků: kontrola možných duplicit požadavků pro stejná zařízení

Vliv na ukazatele SAIDI, SAIFI: výpočet vlivu na standardy nepřetržitosti dodávky a návrh opatření pro možné snížení dopadu na tyto ukazatele

Vliv na spolehlivost soustavy: kontrola zabezpečení zapojení soustavy v průběhu odstávek a posouzení nutnosti zavedení opatření pro splnění kritéria n-1.

Možnost využití PPN,MZS,NPT: vyhodnocení ekonomické výhodnosti využití těchto opatření a rozhodnutí o jejich použití.

Nákladová náročnost: vyhodnocení nákladů na realizaci odstávky a návrh možného snížení nákladů

Technologická proveditelnost: ověření možnosti technického provedení odstávky navrženým způsobem.

Nasazení lidských zdrojů: ověření dostupnosti kvalifikovaných pracovníků a ekonomické vyhodnocení jejich účasti při realizaci odstávky.

11.2.3 Výstup:

Optimalizovaný plán odstávek – sestavený plán odstávek po provedené optimalizaci, připravený pro využití při operativním řízení provozu.

12 Závěr

Liberalizací trhu s elektřinou byl mimo jiné zvýšen tlak na hledání úspor také v energetických distribučních společnostech. Ve všech oblastech hledají společnosti možnosti ke snižování nákladů. Jednou z oblastí kde je v posledním období, v distribučních společnostech, soustředěna snaha o dosažení úspor, je oblast plánovaných odstávek zařízení distribuční soustavy. V této oblasti tvoří náklady jednak činnosti při přípravě odstávek, následně činnosti při samotném provedení odstávek v reálném čase a také činnosti spojené s vyhodnocením odstávek po jejich provedení. Pro vyhledání možných úspor je nutné mít k dispozici potřebná data za dostatečně dlouhé období, provést analýzu těchto dat a na základě této analýzy vyhodnotit zda je možné v této oblasti navrhnout opatření, která by vedla ke snížení počtu odstávek.

Problematickou optimalizace plánovaných odstávek v distribuční síti jsem se zabýval v této práci. K dispozici jsem získal data o plánovaných odstávkách ve významné části distribuční soustavy. Rozloha zásobovaného území této části tvoří 14% z celého území české republiky. V této práci je provedena analýza celkem 67 000 ks odstávek. Jedná se o odstávky za období 5 let na napětíových hladinách VVN, VN i NN. Konkrétně jde o roky 2008 až 2012. Analýza byla prováděna jak samostatně pro jednotlivé napětíové hladiny, tak také kumulativně přes všechny napětíové hladiny. Analýza byla prováděna podle:

- typu zařízení
- napětíových hladin
- příčiny odstávky
- časového rozložení
- vlivu odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce

Mimo jiné bylo analýzou zjištěno:

- nejvíce odstávek je nárokováno ve stanicích (rozvodny, DTS)
- 72% odstávek je prováděno na napětíové hladině VN
- nejčastější příčinou odstávek (49%) jsou práce pro provedení údržby dle ŘPÚ
- na ukazateli nepřetržitosti distribuce SAIDI se plánované odstávky podílejí 49%
- odstávky na hladině VVN nemají dopad na ukazatele nepřetržitosti distribuce.

V práci jsou vypočteny náklady na jednu odstávku, které činí 3640Kč. Od této částky jsou pak odvozeny náklady na všechny odstávky v uvedené oblasti za rok, které byly stanoveny na 47 mil. Kč.

Tyto hodnoty pak byly použity pro provedení vícekritériální optimalizace. Pomocí této optimalizace byl proveden výpočet možné optimální úspory z celkové výše nákladů na odstávky za rok. Bylo určeno, že

pro zvolené hodnoty kritérií a dané kompromisní řešení je optimální vložit do plánovaných odstávek 37mil. Kč, což by znamenalo roční úsporu 10mil. Kč.

Při provádění vícekritériální optimalizace je vždy rozhodující stanovení kritérií a jejich ohodnocení. Jiný pohled na kritéria bude mít technik, jiný ekonom atd. Pro možnost provedení optimalizace různými hodnotiteli, byl v rámci této práce vytvořen SW program, kde je možné všechny zadané údaje měnit dle pohledu hodnotitele. Do zpracovaného SW vstupují data zjištěná při provedení analýzy dat a je zde na výstupu také uveden počet odstávek, které je nutné omezit a to v členění dle jednotlivých kategorií. V práci jsou dále rozebrány možnosti pro snížení počtu odstávek a také pro snížení vlivu plánovaných odstávek na ukazatele nepřetržitosti distribuce. Konkrétně jsou rozebrány oblasti:

- koordinace odstávek na stejném zařízení
- optimalizace údržbových prací dle ŘPÚ
- použití metod prací pod napětím
- využití náhradních zdrojů energie
- budování náhradních provozních tras
- využití dostupných IT systémů

Práce byla zpracována za účelem možnosti nalezení optimálního řešení při potřebě snižovat náklady, ale zároveň zachovat dostatečnou úroveň spolehlivosti soustavy.

12.1 Doporučení pro další postup

Výsledky práce mohou být východiskem pro další zkoumání a zavedení do praxe navržených opatření. Významné mohou být zejména výsledky provedené analýzy dat, které mohou sloužit k dalšímu hledání možností omezení počtu plánovaných odstávek. Je potřebné dále navázat na navržená opatření a podrobně rozpracovat např. možnou optimalizaci údržbových prací dle ŘPÚ, výraznější zavádění spolehlivostně orientované údržby, efektivní využití metod prací pod napětím atd. Velmi významné bude další vytvoření postupů pro výběr kritérií a stanovení jejich hodnot pro optimalizaci provedenou v této práci a zavedení těchto postupů do SW programu vytvořeného v rámci této práce.

13 Conclusions

Liberalisation of electricity market, besides other things, increased pressure on cost reduction initiatives in distribution system businesses. Therefore, distribution companies are searching for opportunities to reduce costs in all areas possible. Scheduled outages in distribution networks represent one of these areas. In this particular area the costs consist of operations during outage preparation, realization of outage itself and final assessment of the realized outage. To identify opportunities to reduce costs it is needed to collect long-term data, analyse it and on the basis of the analysis evaluate possible measures to reduce total number of scheduled outages.

Optimization of scheduled outages in distribution network is therefore the main topic of this paper. For this reason, data regarding scheduled outages in significant part of the distribution network were collected. Area covered by the distribution system represents 14 % of the total area of the Czech Republic. Analysis covered total number of 67 thousands outages that occurred at voltage levels HV, MV and LV during the period of 5 years (2008-2012). Analysis was performed both for individual voltage levels and for all of them (cumulative data). This analysis took into account:

- type of the facility
- voltage level
- reason for outage
- time period
- outage impact on continuous distribution indicators

Key findings of the analysis:

- outages occurred most of the in power distribution points and distribution switchgear
- 72 % of outages is performed at voltage surface MV
- most of the outages (49 %) are caused by maintenance operations
- scheduled outages influence by 49% the continuous distribution indicator SAIDI
- outages at the surface level HV do not have any impact on continuous distribution indicators

This paper provides calculation of costs of individual outage that amount to 3 640 CZK. On the basis of this amount are calculated total costs of scheduled outages in analysed area. Total costs per year amounts to 47 million CZK. These values were used in multi-criteria optimization which indicated possible optimal level of cost reductions. It was defined that for the used values it is optimal to reduce yearly costs on scheduled outages by 10 million CZK.

Key aspect of multi-criteria optimization is definition of criteria and its' valuation. There are different criteria perspectives – e.g. the perspective of technical analyst would be different than the perspective of economist. For that reason, specialized software was developed. This software enables implementation of different perspectives on the multi-criteria optimization.

Moreover, in this paper are discussed opportunities to reduce the number of outages and to reduce impact of scheduled outages on continuous distribution indicators. Areas discussed are as follows:

- coordination of outages in the same facility
- optimization of maintenance operations
- ways of live-line working
- usage of reserve energy resources
- building of alternative operating routes
- use of available IT systems

This paper was elaborated to identify optimal solution to reduce costs while maintaining sufficient level of distribution system reliability.

13.1 Recommendations for further progress

Conclusions of this paper could form a basis for next research of proposed solutions and their implementation. Significant are especially the results of data analysis which could be used for additional research of opportunities to reduce the number of scheduled outages. It is necessary to follow in proposed solutions and elaborate in detail e.g. possible optimization of maintenance operations according to the preventive maintenance rules, implementation of reliability based maintenance or effective ways of working at voltage surface. Other area of major significance is the development of procedures for the selection of criteria and values for the multi-criteria optimization provided in this paper. Consequently, these procedures should be incorporated in the software that was developed as a part of this paper.

14 Použitá literatura

- [1] *Rusek S.*, Spolehlivost elektrických sítí, VŠB-TU Ostrava, I.vydání, Ostrava 2001
ISBN 80-7078-847-X
- [2] *Brožová H., Houška M.*, Základní metody operační analýzy, ČZU v Praze, Praha 2008
ISBN 978-80-213-0951-7
- [3] *Brožová H., Houška M., Šubrt. T.*, Modely pro vícekritériální rozhodování, ČZU v Praze, Praha 2009
ISBN 978-80-213-1019-3
- [4] *Maňas M.*, Optimalizační metody pro podnik, finance a trh, VŠE Praha, Praha 1997
ISBN 80-7079-284-1
- [5] *Fiala P., Jablonský J., Maňas M.*, Vícekritériální rozhodování, VŠE Praha, Praha 1997
ISBN 80-7079-743-7
- [6] *ČEZ Distribuce, a.s.*., Technická a řídicí dokumentace
- [7] *Raška T.*, Spolehlivostně orientovaná údržba v elektroenergetice, Disertační práce, Ostrava 2002
- [8] *ERÚ – Energetický regulační úřad*, Roční zpráva o provozu ES ČR 2012, www.eru.cz
- [9] *Brown R.E.*, Electric Power Distribution Reliability, Marcel Dekker, Inc., New York 2002
ISBN 0-8247-0798-2
- [10] *Billinton, R. (chairman)*, Methods to consider customer interruption costs in power analysis, technical report, Cigré Task Force 38.06.01, Paris 2001
- [11] *Wenyuan Li*, Probabilistic Transmission System Planning, Hardcover, Wiley-IEEE Press, 2011
ISBN: 978-0-470-63001-3
- [12] *Provozovatelé distribučních soustav*, Pravidla provozování distribučních soustav, listopad 2011
- [13] Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon)
- [14] Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb.

15 Vlastní publikace

- [15] Šoltys J., Analýza plánovaných odstávek v distribuční síti, Sborník přednášek Mezinárodní vědecká konference EPE2013, 28.5.-30.5.2013, Kouty nad Desnou ISBN: 978-80-248-2988-3; WOS:000321920400135
- [16] Rusek S. , Šoltys J., Plánování odstávek zařízení distribuční soustavy v současných podmínkách, Sborník přednášek Mezinárodní vědecké konference EPE 2011, 17.5.-19.5.2011, Kouty nad Desnou ISBN: 978-80-248-2393-5; WOS:000321911500012
- [17] Šoltys J., Obnova dodávky po poruchách vzniklých v DS při nestandardním zapojení soustavy z důvodu dlouhodobých odstávek části sítě, Sborník přednášek Cyklus E2008, seminář č.6 , Prevence, identifikace a řízení poruch v elektrosoustavách, EGÚ Praha Engineering, a.s., 18.6.2008
- [18] Šoltys J., Vliv hlubinné těžby uhlí na zařízení distribuční soustavy v karvinské oblasti., Sborník přednášek Mezinárodní vědecká konference EPE2009, 12.5.-14.5.2009, Kouty nad Desnou ISBN: 978-80-248-1947-1; WOS:000271440700010
- [19] Šoltys J., Výstavba transformovny VVN/VN ve složitých geologických podmínkách, Sborník přednášek Mezinárodní vědecké konference EPE 2011, 17.5.-19.5.2011, Kouty nad Desnou ISBN: 978-80-248-2393-5; WOS:000321911500112
- [20] Šoltys J. , Macečková T., Přeložka rozvodny 110/22kV Doubrava vyvolaná požadavkem na rozšíření těžby uhlí v hlubinných dolech. , Sborník přednášek Cyklus E2010, seminář č.7, Sledovaný faktor-energetická efektivnost procesů v řetězci přenos, distribuce a užití EE. Inteligentní elektrifikace energetiky, EGÚ Praha Engineering, a.s., 22.9.2010